

**TEORÍA Y MÉTODOS DE LA  
GEOGRAFÍA CUANTITATIVA**

**Libro 1: Por una Geografía de lo real**

**Gustavo D. Buzai  
Graciela Cacace  
Luis Humacata  
Sonia L. Lanzelotti  
(compiladores)**





# TEORÍA Y MÉTODOS DE LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA

Libro 1: Por una Geografía de lo real



Gustavo D. Buzai, Graciela Cacace, Luis Humacata, Sonia L. Lanzelotti  
(compiladores)

# TEORÍA Y MÉTODOS DE LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA

Libro 1: Por una Geografía de lo real



Teoría y métodos de la geografía cuantitativa : libro 1: Por una geografía de lo real / Claudia Baxendale ... [et al.] ; compilado por Gustavo Daniel Buzai ... [et al.]. - 1a ed. . - Mercedes : MCA Libros , 2015.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-987-45986-2-2

1. Geografía. 2. Sistema de Información Geográfica. I. Baxendale, Claudia II. Buzai, Gustavo Daniel, comp.

CDD 910

Fecha de Catalogación: 24/08/2015

Esta obra fue editada en el marco de la Red GESIG, dependiente del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica (GESIG) del Departamento de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de Luján, bajo la dirección del Dr. Gustavo Buzai.

La edición contó con el auspicio del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján y de la Dirección de Cultura y Educación de la Municipalidad de Mercedes.

Portada: Sector de la AGBA. Mapa coroplético por fracciones censales: Nivel Educativo Alto, 2001 (Gustavo Buzai y Mariana Marcos)

Primera edición: Setiembre 2015

MCA Libros

Director Editorial: Lic. Gabriel E. Acuña Suarez

Museo Municipal de Ciencias Naturales "Carlos

Ameghino" (MCA) Calle 26 N° 512

(6600) Mercedes, Buenos Aires

Argentina

mameghino@mercedes.gob.ar

GESIG

Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica

Instituto de Investigaciones Geográficas, Universidad Nacional de Luján

[www.gesig-proeg.com.ar](http://www.gesig-proeg.com.ar) / [gesig-proeg@unlu.edu.ar](mailto:gesig-proeg@unlu.edu.ar)

Hecho el depósito que marca la ley 11.723.

Prohibida su reproducción total o parcial sin permiso expreso de los editores.

Editado en Argentina

© Copyright MCA Libros.

# ÍNDICE

Los Autores.....	9
Los Evaluadores.....	13
Presentación.....	15
<b>Parte 1. Aspectos conceptuales</b>	
Geografía Cuantitativa, paradigmas y simplicidad <i>Gustavo D. Buzai</i> .....	23
Ordenar el territorio con base en la Geografía Cuantitativa <i>Claudia A. Baxendale</i> .....	39
Estructura diacrónica de los procesos de investigación aplicada a la Geografía Cuantitativa <i>Eloy Montes Galbán</i> .....	53
<b>Parte 2. Aplicaciones de análisis espacial</b>	
<u>Análisis locacional</u>	
La evaluación multicriterio en contexto urbano <i>Graciela Cacace</i> .....	73
La evaluación multicriterio en el espacio regional y dimensión histórico-arqueológica <i>Sonia L. Lanzelotti</i> .....	93
Modelos multicriterio basados en funciones de utilidad <i>Liliana Ramirez y Romina Claret</i> .....	105

## Análisis regional

Métodos de clasificación y regionalización en base cuantitativa  
*Luis Humacata*..... 123

Los métodos de autocorrelación espacial para la regionalización  
intraurbana  
*Patricia Iris Lucero*..... 139

## Análisis de interacción

Interacciones económicas transfronterizas y sus efectos  
en espacios nacionales  
*Armando García de León*..... 157

Modelos para la estimación de la demanda en transporte  
público  
*Oswaldo Cardozo, Cristian Javier Da Silva  
y Érica Leonor Gómez*..... 175

Modelización por isócronas. Aplicación al transporte  
*Alejandro Parras*..... 195

## Análisis espacio-temporal

Procedimientos cuantitativos vigentes para el análisis de la  
estructura de series de tiempo geográficas  
*Arnobio Germán Poblete*..... 213

Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano  
*Santiago Linares*..... 231

## Convergencia

*Gustavo Buzai*..... 249

## LOS AUTORES

*Claudia A. Baxendale* [Lic. Esp.]

Licenciada en Geografía (USAL) y Especialista en Planificación Urbana y Regional (UBA). Actualmente se desempeña en el Grupo de Ecología del Paisaje y Medio Ambiente (GEPAMA) de la Universidad de Buenos Aires y como integrante externa de proyectos PDI y FONCYT en el Grupo de Estudios sobre Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (GESIG) de la Universidad Nacional de Luján. Correo electrónico: [baxendale.claudia@gmail.com](mailto:baxendale.claudia@gmail.com).

*Gustavo D. Buzai* [Prof. Lic. Dr. PosDoc.]

Profesor de Enseñanza Secundaria, Normal y Especial en Geografía (UBA), Licenciado en Geografía (UBA), Doctor en Geografía (UNCuyo) y Estadía de Investigación Posdoctoral (UAM-España). Actualmente dirige el Grupo de Estudios sobre Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (GESIG) del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján, Docente e Investigador del CONICET y director de la revista *GeoSIG*. Correo electrónico: [buzai@uolsinectis.com.ar](mailto:buzai@uolsinectis.com.ar)

*Graciela Cacace* [Prof. Lic. Esp.]

Profesora de Geografía (JVG), Licenciada en Geografía (UNLU) y Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (UNLU). Actualmente se desempeña como docente e integrante del Grupo de Estudios Sobre Geografía Económica y Comercio Internacional del del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján. Correo electrónico: [cacacegraciela@gmail.com](mailto:cacacegraciela@gmail.com)

*Oswaldo D. Cardozo* [Prof. Dr.]

Profesor en Geografía (UNNE) y Doctor en Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (UAH-España). Actualmente se desempeña como docente e Investigador del CONICET en la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste. Correo electrónico: [osvaldocardozo@yahoo.com.ar](mailto:osvaldocardozo@yahoo.com.ar)

*Romina Claret* [Prof.]

Profesora de Geografía (UNNE). Actualmente se desempeña como becaria del CONICET en el Instituto de Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste, donde también desempeña actividades docentes. Correo electrónico: [romina\\_claret@comunidad.unne.edu.ar](mailto:romina_claret@comunidad.unne.edu.ar)

*Cristian Javier Da Silva* [Prof.]

Profesor de Geografía (UNNE). Actualmente se desempeña como docente en el Departamento de Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste. Correo electrónico: [cjdasilva@hum.unne.edu.ar](mailto:cjdasilva@hum.unne.edu.ar)

*Armando García de León* [Prof. Lic. Mtro.]

Ingeniero Químico Metalúrgico (UNAM) y Maestría en Geografía (UNAM). Actualmente se desempeña como Investigador del Departamento de Geografía Económica del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México y como Secretario Técnico de Vinculación. Correo electrónico: [gdeleon@unam.mx](mailto:gdeleon@unam.mx)

*Érica Leonor Gómez* [Prof.]

Profesora de Geografía (UNNE). Actualmente se desempeña como becaria del CONICET en el Instituto de Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste, donde también desempeña actividades docentes. Correo electrónico: [ericagomez@conicet.gov.ar](mailto:ericagomez@conicet.gov.ar)

*Luis Humacata* [Prof. Lic. Esp.]

Profesor de Geografía (UNLu), Licenciado en Geografía (UNLu) y Especialista en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (UNLu). Actualmente se desempeña como docente e integrante del Grupo de Estudios sobre Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (GESIG) del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján. Correo electrónico: [luishumacata@hotmail.com](mailto:luishumacata@hotmail.com)

*Sonia Lanzelotti* [Lic. Dra.]

Licenciada en Ciencias Antropológicas (UBA) y Doctora de la Universidad de Buenos Aires, area Arqueología (UBA). Actualmente se desempeña como Investigadora del CONICET en el Museo Etnográfico J. B. Ambrosetti de la Universidad de Buenos Aires, y como docente e integrante del Grupo de Estudios sobre Análisis Espacial y Sistemas de Información Geográfica (GESIG) del Instituto de Investigaciones Geográficas (INIGEO) de la Universidad Nacional de Luján. Correo electrónico: [sonia.lanzelotti@conicet.gov.ar](mailto:sonia.lanzelotti@conicet.gov.ar)

*Santiago Linares* [Prof. Mag. Dr.]

Profesor de Geografía (UNCPBA), Magister en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (UNCPBA) y Doctor en Geografía (UNS). Actualmente se desempeña como Investigador Asistente del CONICET en el Centro de Investigaciones Geográficas del Instituto de Geografía, Historia y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, donde también se desempeña como docente. Correo electrónico: [slinares@fch.unicen.edu.ar](mailto:slinares@fch.unicen.edu.ar)

*Patricia Lucero* [Prof. Lic. Mag.]

Profesora en Geografía (UNMDP), Licenciada en Geografía (UNMDP) y Master en Ciencias Sociales con Mención en Economía (FLACSO-Costa Rica). Actualmente se desempeña como Profesora del Departamento de Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad de Mar del Plata, donde es directora del Grupo de Estudios Sobre Población y Territorio (GESPYT). Correo electrónico: [plucero@mdp.edu.ar](mailto:plucero@mdp.edu.ar)

*Eloy Montes Galbán* [Lic. M.Sc.]

Licenciado en Educación, Mención Geografía (LUZ) y Magister Scientiarum en Geografía, Mención Docencia (LUZ). Actualmente se desempeña en el Departamento de Geografía y en el Centro de Estudios Geográficos de la Universidad del Zulia – Venezuela. Dirige el boletín *Red GESIG* de la Universidad Nacional de Luján. Correo electrónico: [eloyead@yahoo.com](mailto:eloyead@yahoo.com)

*Alejandro Parras* [Prof. Mgter.]

Profesor en Geografía (UNNE) y Magister en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica (UNICEN). Actualmente se desempeña como Director del Laboratorio de Tecnologías de la Información Geográfica (UNNE-CONICET) y es coordinador del Grupo de Estudios sobre Movilidad, Servicios e Infraestructuras y Territorio-GEMSIT- (Facultad de Humanidades – UNNE). Correo electrónico: [aleparras@hotmail.com](mailto:aleparras@hotmail.com)

*Arnobio Germán Poblete* [Prof. Dr.]

Profesor en Enseñanza Media y Superior en Matemática (UNSJ), Profesor en Enseñanza Media y Superior en Geografía (UNSJ) y Doctor en Geografía (UNT). Actualmente dirige el Instituto de Geografía Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan, donde también es director de la *Revista de Geografía*. Correo electrónico: [agpoblete@gmail.com](mailto:agpoblete@gmail.com)

*Liliana Ramírez* [Prof. Lic. Dr. PosDoc]

Profesora de Enseñanza Media en Geografía (UNNE), Profesora en Geografía (UNNE), Licenciada en Geografía (UNNE), Doctora por la Universidad de Alcalá, especialidad Cartografía, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección (UAH-España) y Estadía de investigación posdoctoral (UAH-España). Actualmente se desempeña como Investigadora del CONICET y Profesora Titular en la Facultad de Humanidades de la UNNE. Correo electrónico: [lr Ramirez@hum.unne.edu.ar](mailto:lr Ramirez@hum.unne.edu.ar)

## LOS EVALUADORES

*Dr. Joaquín Bosque Sendra*  
Universidad de Alcalá de Henares, España.

*Dr. Manuel Fuenzalida*  
Universidad Alberto Hurtado, Chile.

*Mg. Heinrich Hasenack*  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.

*Dr. Antonio Moreno Jiménez*  
Universidad Autónoma de Madrid, España.

*Lic. Ernest Ruiz*  
Universidad de Barcelona, España.

*Dr. José Seguinot Barbosa*  
Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico.



## PRESENTACIÓN

LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA tiene un antiguo origen, que se remonta a la época en que las matemáticas fueron utilizadas por primera vez para intentar conocer más y mejor nuestro planeta. Tan determinantes fueron estos ensayos que el término *Geografía* fue acuñado por Eratostenes (275aC – 194aC), geógrafo de la Grecia Antigua, quien mediante el método trigonométrico pudo medir con gran aproximación el tamaño de la esfera terrestre.

Considerando la orientación definitiva de finales del siglo XIX que llevó a la Geografía a transformarse en *ciencia humana*, la Geografía Cuantitativa se desarrolla a mediados del siglo XX, como un nuevo paradigma del pensamiento geográfico preocupado por establecer las leyes que rigen las pautas de distribución espacial, apoyándose en la matemática como lenguaje de la ciencia y en la geometría como lenguaje de la forma espacial. La matriz de datos geográfica unificaría ambos componentes como sistema organizador de datos espaciales con posibilidades analíticas superadoras. Las propuestas de investigación bajo posturas cuantitativas y sistémicas, se orientaron a la construcción de modelos que representan los rasgos estructurales y funcionales de la organización espacial.

La Geografía Cuantitativa fue denominada de diferentes formas a partir de su capacidad paradigmática: *Nueva Geografía*, *Geografía Neopositivista* o *Geografía Teórica*. Actualmente su evolución dio como resultado la *Geografía Automatizada* sustentada en el uso de computadoras y a partir de allí generó un gran impacto en la ciencia a través de la *Geografía Global* y en la sociedad a partir de la *Neogeografía*. Se verifica un camino que lleva a las mayores posibilidades para el manejo y análisis de información espacial, frente a las tendencias actuales de circulación de datos geográficos de manera masiva, en el contexto mundial de la globalización.

Para estudiar el espacio geográfico el apoyo central lo constituyen las metodologías del análisis espacial cuantitativo, las cuales han tenido una amplia difusión en el ámbito científico actual a partir del desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se convierten en una herramienta teórico-metodológica de apoyo fundamental al permitir el tratamiento de datos en un contexto orientado centralmente al análisis de las manifestaciones espaciales.

Desde esta perspectiva, la Geografía se encuentra estrechamente ligada a su capacidad de ciencia aplicada en el ámbito del ordenamiento territorial. Este aspecto resulta de relevancia ya que la dimensión espacial está adquiriendo un mayor protagonismo en una gran variedad de ciencias que se apoyan en el análisis espacial cuantitativo para la generación de conocimientos relacionados a las localizaciones, distribuciones espaciales, asociaciones espaciales, interacciones espaciales y evoluciones espaciales de determinadas características que permiten modelar el espacio geográfico para su mejor conocimiento y posibilidades de aplicación.

La presente obra titulada *Teoría y Métodos de la Geografía Cuantitativa* (Libro 1: *Por una Geografía de lo real*) aborda aspectos relativos a los actuales avances en el desarrollo teórico y epistemológico de esta perspectiva paradigmática, dando lugar a una mayor integración con los avances metodológicos apoyados en las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), frente a los nuevos desafíos que se plantean en el siglo XXI, a través de la reafirmación de los principios del cuantitativismo.

El libro se estructura en dos partes. La parte 1, *Aspectos conceptuales*, presenta temas teórico-epistemológicas centrales de la Geografía Cuantitativa.

En el capítulo *Geografía Cuantitativa, Paradigmas y simplicidad*, Gustavo D. Buzai se ocupa de desarrollar los criterios demarcatorios que llevan a justificar a la Geografía Cuantitativa como perspectiva científica, a saber: privilegio de visiones nomotéticas centradas en la generalización, la construcción de leyes científicas, el papel de la observación frente a la experimentación y la necesidad de consolidar la simplicidad. Estos aspectos centrales que rescata de la

Astronomía, le permiten avanzar en la definición de una postura materialista sistémica de la Geografía Cuantitativa, como ciencia espacial aplicada.

Claudia Baxendale, en su capítulo *Ordenar el territorio con base en la Geografía Cuantitativa*, plantea las articulaciones que surgen entre el enfoque geográfico y la práctica multidisciplinar del ordenamiento territorial, señalando las potencialidades que el análisis geográfico, en base a procedimientos cuantitativos, puede realizar en la tarea de ordenar el territorio.

Eloy Montes Galbán se centra en desarrollar la *Estructura diacrónica de los procesos de investigación aplicada a la Geografía Cuantitativa*, haciendo referencia a la secuencia de desarrollo investigativo, en el marco de un programa de investigación, que transita progresivamente cuatro fases sucesivas (descriptiva, explicativa-teórica, contrastiva, aplicativa o tecnológica).

La parte 2, *Aplicaciones de análisis espacial*, presenta estudios concretos. El apartado correspondiente al análisis locacional está constituido por tres aplicaciones. En el capítulo desarrollado por Graciela Cacace, *La evaluación multicriterio en contexto urbano*, se aplican las técnicas del modelado cartográfico y la Evaluación Multicriterio (EMC), para la búsqueda de sitios de aptitud locacional para nuevos establecimientos educativos de nivel primario en la ciudad de Luján. El capítulo a cargo de Sonia Lanzelotti, *La evaluación multicriterio en el espacio regional y dimensión histórico-arqueológica*, presenta la utilidad de la metodología de EMC en el análisis de una "Geografía del pasado", mediante la aplicación de técnicas del modelado cartográfico para la verificación de sitios de aptitud para el desarrollo de la agricultura prehispánica en un sector de los Valles Calchaquíes, en la provincia de Catamarca. El capítulo presentado por Liliana Ramírez y Romina Claret, *Modelos multicriterio basados en funciones de utilidad*, tiene como objetivo elaborar el Índice de Salud Ambiental para los conglomerados de Corrientes y el Área Metropolitana del Gran Resistencia, basándose en un Modelo de Utilidad Multiatributo de tipo aditivo que permite dar cuenta de las zonas prioritarias que se encuentran en situación de vulnerabilidad.

En la temática del análisis regional se presentan dos trabajos de aplicación. En el capítulo *Métodos de clasificación y regionalización en base cuantitativa*, Luis Humacata presenta los procedimientos metodológicos de construcción regional para la obtención de áreas homogéneas, con la finalidad de descubrir las heterogeneidades espaciales internas de la Provincia de Buenos Aires. Para ello aplica el método de promedios estandarizados y el Análisis *Linkage*, como avance al tratamiento de unidades espaciales en procesos de regionalización. El capítulo *Los métodos de autocorrelación espacial para la regionalización intraurbana*, de Patricia Iris Lucero, aborda la temática de la diferenciación socio-espacial en el interior de la ciudad. El universo de análisis está conformado por el área urbana de la aglomeración de Mar del Plata, y se aplican los métodos de autocorrelación espacial (Índice de Moran Global y Local), para lograr una regionalización intraurbana que refleje el aglutinamiento territorial de los hogares según la prevalencia del grado de educación universitario y superior alcanzado por los jefes de hogar.

En la temática del análisis de interacción espacial se presentan tres trabajos de aplicación. Armando García de León desarrolla el capítulo *Interacciones económicas transfronterizas y sus efectos en espacios nacionales*. Con el objetivo de demostrar la presencia de un efecto gravitacional entre el centro de México y Sur de los Estados Unidos que beneficia la frontera Norte mexicana, aplica la metodología del Valor Índice Medio a partir del análisis multivariado de indicadores socio-económicos. De esta manera llega a la construcción del Índice de Potencial Económico para las 32 entidades federativas de México. El capítulo *Modelos para la estimación de la demanda en transporte público*, de Osvaldo Cardozo, Cristian Javier Da Silva y Érica Leonor Gómez, indaga en formas alternativas a los métodos tradicionales para conocer la demanda de viajes en transporte público. Para ello se analiza el acceso al servicio de transporte público, en función de la proximidad a la parada y la combinación de variables en su entorno (población, distancias, usos del suelo), con la finalidad de generar modelos para conocer la demanda potencial de viajes en las zonas céntricas de las ciudades de Resistencia y Corrientes. El capítulo desarrollado por Alejandro Parras, *Modelización de la red de transporte pública a partir de isocronas*, se orienta a validar el uso de isocronas como técnica

cuantitativa para el análisis de redes, proponiéndose en primer lugar la construcción de las isolneas que resultan del tiempo de viaje del transporte público en la ciudad de Resistencia; y en segundo lugar, la descripción de los patrones de distribución e interacción con la población potencial con fines de modelización espacial.

La temática del análisis espacio-temporal incluye dos trabajos de aplicación. El capítulo *Procedimientos cuantitativos vigentes para el análisis de la estructura de series de tiempo geográficas*, a cargo de Arnobio Germán Poblete, describe las metodologías más relevantes en los ámbitos geográficos y climatológicos mundiales, como Wavelet (entre el derrame anual del río San Juan y las temperaturas superficiales del mar en el área Niño 3+4), Change Point (derrame anual del río San Juan) y Break Regression (detección de los ritmos de crecimiento de la temperatura global), abarcando series temporales desde 1909 a 2014. El capítulo *Aplicación de modelos de simulación de crecimiento urbano*, a cargo de Santiago Linares, presenta los principales antecedentes y conceptos del modelo de simulación urbana basada en la técnica de los autómatas celulares, desarrollando como ejemplo empírico la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Tandil a partir de considerar múltiples variables.

El libro concluye con unas reflexiones de Gustavo D. Buzai, sobre la importancia de privilegiar la materialidad empírica de la realidad como base para los estudios de Geografía Aplicada, demostrando la utilidad de nuestra ciencia en la comprensión y resolución de casos problemáticos concretos que nos presenta la realidad.

En síntesis, la contribución realizada por el libro *Teoría y Métodos de la Geografía Cuantitativa* pretende formar parte de la literatura geográfica ocupada en especificar los avances teóricos y epistemológicos de la Geografía Cuantitativa con un fuerte componente metodológico-aplicativo, basado en una amplia variedad de aplicaciones sobre temáticas de relevancia social.

Agradecemos a los colegas participantes por apoyar este proyecto de publicación, tanto en carácter de autores como evaluadores. El trabajo conjunto plasmado en las siguientes páginas permitieron a los editores cumplir el objetivo de presentar una

*Gustavo D. Buzai, Graciela Cacace, Luis Humacata y Sonia L. Lanzelotti*

Geografía preocupada por el mundo real y, a través de esto, generar un material específico que brinde utilidad a los lectores en sus actividades académicas, tanto orientadas hacia la investigación como a la docencia de nuestra ciencia.

Gustavo D. Buzai  
Graciela Cacace  
Luis Humacata  
Sonia L. Lanzelotti  
Luján, agosto de 2015

PARTE I

# ASPECTOS CONCEPTUALES



# GEOGRAFÍA CUANTITATIVA, PARADIGMAS Y SIMPLICIDAD

*Gustavo D. Buzai*

*"La verdad siempre se halla en la simplicidad, y  
no en la multiplicidad y confusión de las cosas"*

Isaac Newton

(Rules for Methodizing the Apolcalypse, 1691)

## INTRODUCCIÓN

EL PRESENTE TRABAJO tiene como objetivo analizar algunos aspectos que llevan a obtener criterios demarcatorios que justifican a la Geografía Cuantitativa como ciencia y para ello se avanza en un procedimiento que recorre un camino desde lo general a lo particular: desde el universo a la tierra y desde el espacio exterior hasta el espacio geográfico.

Históricamente, la Geografía al definirse como *ciencia humana* se ha separado de los contenidos temáticos generales que puede brindarle la Astronomía (Capel 1980). Sin embargo cuando se hace referencia a la Geografía como actividad científica, todavía existen vínculos categóricos inseparables que le brindan un necesario sustento. En este texto se intentan rescatar algunos aspectos centrales no muy tenidos en cuenta por nuestra comunidad científica actual.

En primer lugar prestamos atención al cielo y a partir de analizar el procedimiento de construcción de conocimientos científicos se pueden extrapolar formas de aproximación a la realidad de total vigencia, como lo es el privilegio de visiones *nomotéticas* centradas en la generalización, la clara definición basada en la construcción de leyes científicas, el papel de la observación frente a la experimentación y finalmente la necesidad de simplicidad.

Mediante estos cuatro aspectos centrales que permiten ver a la ciencia y al método científico como un procedimiento de gran simplicidad se abre un camino claro para el avance hacia la definición de una Geografía Aplicada. Un camino que comenzó con

una transición desde la Astronomía (el cielo) hacia la Geografía (la Tierra) cuando Klaudios Ptolomaios ubicó localizaciones terrestres en el mapa del mundo después de haber escrito su obra astronomía *Almagesto* en el año 150. Según Sobel (2006) tuvo que dominar primero el mapa del cielo para luego trazar el de la Tierra con sus 8 mil localidades perfectamente ubicadas en el espacio absoluto del mundo conocido.

Ya en la Tierra y en la actualidad, el enfoque sistémico constituye la perspectiva teórica capaz de vincular todas las escalas, ya sea desde un punto de vista de los sistemas generales o de los sistemas complejos, sobresaliendo en ambos casos la base materialista empírica del planeta en sus componentes físico-naturales y humanos. Es allí donde puede encontrarse la objetividad necesaria para la aplicación de la Geografía Cuantitativa, primero mediante procedimientos matemáticos analógicos y actualmente a través de la aplicación de métodos cuantitativos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La Teoría de los Sistemas Complejos (TSC) (complejos pero no complicados) brinda excelentes posibilidades para comprender la realidad y también para avanzar en el estudio de las teorías y metodologías que permiten su abordaje. Cuenta con grandes posibilidades para avanzar en el trabajo empírico desde la ciencia y en la construcción conceptual a través de su aplicabilidad epistemológica.

De esta manera el pensamiento geográfico puede ser comprendido en el marco de la TSC con la finalidad última de comprender la realidad, una tarea muy noble y sólo a partir de ella podrán obtenerse diferentes soluciones. De eso se trata: de hacer de la Geografía una ciencia aplicada a través de una postura *materialista sistémica*, de importante valorización contextual, científica y social.

## **DESDE EL CIELO: ENSEÑANZAS DE LA ASTRONOMÍA**

### **La realidad se comprende por generalizaciones**

El cielo nos muestra uno de los espectáculos más hermosos y maravillosos que podemos presenciar. Quienes comenzamos a tener

nuestras primeras inquietudes científicas mirando el cielo volvimos nuestra mirada a la Tierra como un planeta del Sistema Solar.

El Sol es nuestra estrella más cercana, alrededor de la cual giraban 9 planetas: Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Era fácil memorizar estos pocos nombres y, de esta manera uno comenzaba a sentir que su conocimiento llegaba muy lejos, ya que Plutón se encuentra aproximadamente a 5.750 millones de kilómetros de nosotros.

Experimenté esa sensación hace poco más de 40 años mientras estaba leyendo mi primer libro de Astronomía, *El Sistema Solar* (Vidal 1973), publicación que actualmente merecería bastante actualización.

El tiempo transcurrido, que para la historia del universo no es nada y para la historia de la humanidad ínfima, para la evolución del conocimiento puede representar mucho, a tal punto que actualmente debo asimilar el hecho de no estar en el mismo sistema solar y tampoco en la misma galaxia que me habían presentado las antiguas publicaciones.

Comencé a tratar de entender el universo cuando el sistema solar se conocía con 9 planetas y hoy tiene 13 (agregándole Ceres, Haumea, Makemake y Eris), cuando Júpiter tenía 12 satélites y hoy tiene 63, cuando sólo conocíamos 8 planetas vecinos y hoy se conocen casi 2000 planetas extrasolares, cuando se pensaba que la Vía Láctea, nuestra galaxia, estaba formada principalmente por estrellas dispuestas en una estructura espiral y ahora se sabe que su mayor componente son planetas y que su forma es una espiral barrada.

Hoy se conocen cosas nuevas y muchas de las conocidas son diferentes, sin embargo gran cantidad de leyes que explican el funcionamiento del universo siguen vigentes, como las leyes de Kepler sobre el movimiento orbital de los cuerpos celestes, la ley de Titus-Bode sobre las distancias planetarias o la ley de la gravitación universal de Newton, luego ampliada por las leyes incluidas en la teoría de la relatividad de Einstein.

Sin generalizar sería imposible conocer la realidad (Sagan 1995) y el descubrimiento de sus leyes es producto del método científico. Un

método de gran simplicidad (Russell 1985) que se encuentra compuesto por tres instancias principales: la observación de los hechos significativos, la generalización de las observaciones para la formulación de leyes y modelos, y finalmente la comprobación que puede ser realizada hacia nuevos casos que nos propone la realidad.

### **Una definición basada en el descubrimiento de leyes científicas**

Considerando la validez sistema heliocéntrico, Johannes Kepler (1571-1630), a través de los datos precisos de las posiciones planetarias obtenidos por Ticho Brahe (1546-1601), pudo verificar que existían corrimientos que no coincidían con las órbitas circulares pensadas hasta ese momento. De esta manera las mediciones solamente podían encajar en órbitas elípticas y con esta base formuló las tres leyes principales del movimiento planetario:

1. Los planetas se mueven alrededor del Sol en órbitas elípticas, el cual se encuentra ubicado en uno de sus focos.
2. El vector que une cada planeta con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El valor del período orbital al cuadrado es proporcional al valor del semieje mayor de la elipse orbital al cubo.

En general Johannes Kepler formuló las leyes que rigen los movimientos orbitales de los cuerpos celestes. De aquí surge tercera definición de Geografía utilizada por la Geografía Cuantitativa, al considerar que la Geografía es la ciencia que intenta descubrir las leyes que rigen las pautas de distribución espacial.

### **La observación unifica las ciencias**

La Geografía Cuantitativa tiene como marco general la filosofía positivista, la cual tiene entre sus postulados el criterio demarcatorio producido por el monismo metodológico, esto es, que toda la ciencia debe utilizar la misma metodología, ya que existe una forma específica de aproximación para la construcción de conocimientos.

Esta situación implica considerar la existencia de un método científico racional estandarizado para todos los campos del conocimiento. Bajo esta consideración, muchas veces se afirma que la experimentación como método central de las ciencias naturales es imposible llevarlo a cabo en las ciencias sociales. Sería imposible poner aspectos sociales en un tubo de ensayo...

Sin embargo una de las ciencias naturales de mayor prestigio es la Astronomía, una ciencia que construyó sus bases a través de la observación sistemática y las mediciones, no del experimento. De esta manera se considera que las ciencias fácticas son empíricas, porque parten de los hechos de la realidad a través de la observación de temas y problemas, y cuando se hace ciencia aplicada se debe volver a la realidad para mejorar su condición.

Al igual que la Astronomía, la Geografía Cuantitativa observa la realidad empírica del espacio geográfico, realiza mediciones de esa realidad, analiza sus distribuciones espaciales, las generaliza a través de modelos y la formulación de leyes. Por lo tanto se construye una nueva definición para la Geografía que complementa a las tradicionales de orientación ecológica y corológica.

### **La simplicidad permite aproximarnos a la verdad**

Si la bóveda celeste estuviera únicamente poblada por estrellas fijas sería difícil desde la Tierra tener percepciones que puedan contradecir el sistema geocéntrico formulado por Claudio Ptolomeo (100-170), sin embargo, al mirar el cielo se pueden descubrir los planetas, como cuerpos celestes que tienen movimientos propios y, este hecho, según Kuhn (1981) fue el motivo central de la revolución copernicana.

Si bien todos los planetas se mueven junto a las estrellas en su movimiento diario hacia el Oeste, se puede descubrir un desplazamiento lento y continuo hacia el Este, que a lo largo del tiempo, los llevará a la posición inicial (aproximadamente Mercurio y Venus en 1 año, Marte en 2 años, Júpiter en 12 años y Saturno en 29 años). Este recorrido lo hacen dentro de una franja de 8° al norte y sur del Ecuador dentro del plano de la eclíptica atravesando las constelaciones del zodiaco.

Sin embargo, si bien todos los planetas se trasladan hacia el Este, en ciertos momentos, interrumpen ese movimiento para dirigirse hacia el Oeste y luego nuevamente volver a su recorrido original. Este movimiento retrógrado intentó ser explicado mediante diferentes estrategias.

Eudoxo de Cnido (aprox. 408 a.C. – 355 a.C.), apoyado en el sistema geocéntrico, lo explica a través de esferas homocéntricas como sistema de engranajes que rotan simultáneamente a través de ejes inclinados que terminan generando el movimiento retrógrado como blucles (*hipopede*).

Klaudios Ptolemaios (aprox. 100-170), apoyado en el sistema geocéntrico, lo explica a partir de que cada planeta se traslada sobre un *epiciclo*, un pequeño círculo superpuesto a un deferente ubicado en la esfera de traslación. Es el movimiento combinado de dos circunferencias encontrándose el planeta sobre el menor.

Mikołaj Kopernik (1473-1543), apoyado en el sistema heliocéntrico, los explica simplemente como movimientos aparentes que se producen en el fondo estrellado fijo y a partir de las diferentes velocidades de los planetas en sus propias órbitas.

Mediante este ejemplo se puede apreciar un camino hacia una mayor sencillez en la explicación y la formulación más simple es la actualmente verdadera.

### **Síntesis. Lecciones que la Astronomía brinda a la Geografía, adoptadas por la Geografía Cuantitativa**

De los cuatro puntos anteriores se puede realizar la siguiente síntesis:

1. La ciencia generaliza, se construyen modelos y se descubren las leyes del funcionamiento de lo real.
2. La ciencia es empírica porque parte de la realidad concreta a través de la observación de los hechos que permiten definir las temáticas a estudiar.
3. La simplicidad produce la mejor explicación. Cuanto más simple se puede explicar algo más cercano se estará a la verdad.

4. Se producen definiciones basadas en la construcción de leyes científicas, sustentado en las leyes de Kepler. La Geografía Cuantitativa propone un avance en los alcances de la Geografía que hoy se operativiza a través de aplicaciones informáticas.

## **EN LA TIERRA: APROXIMACIONES DESDE LA GEOGRAFÍA**

### **El enfoque sistémico unifica la visión espacial**

Los cambios de escalas, desde la globalidad del planeta Tierra hasta el sitio, nos brindan la posibilidad de estudiar la realidad como totalidad y de allí como sistema. Es una cuestión central cuando se avanza en la búsqueda de soluciones socioespaciales concretas en el abordaje de la realidad.

En esta línea conceptual se desarrolló la *Teoría general de los sistemas* (TGS) (Bertalanffy 1968) cuyo objetivo es encontrar aquellos aspectos generalizables que pueden ser aplicados a diferentes sistemas en distintas temáticas y escalas. Un avance posterior encuentra en la *Teoría de los sistemas complejos* (TSC) (García 2006) una perspectiva que avanza en el intento de buscar aquellos aspectos conceptuales específicos para cada nivel dentro del sistema.

La TSC tiene una excelente capacidad para el análisis de la realidad en dos aspectos: al abordar la estructura de la realidad (García 2006) como base empírica de la Geografía y brindando claridad respecto del proceso de construcción de conocimientos (García 2000) en su capacidad epistemológica.

Es de destacarse que en la TSC complejidad no significa dificultad, aunque el texto de Baxendale (2012) nos muestra que no toda postura de la complejidad se quiere alejar de la complicación. Simplemente se encuentra relacionado con la posibilidad de llegar a la totalidad a partir de estudiar una temática desde diferentes perspectivas. En este sentido no es incompatible hacer referencia a la complejidad y considerar la frase de Isaac Newton con la cual fue comenzado este texto.

El planeta Tierra (sistema Tierra) junto a los procesos de globalización (sistema Mundo) representa la base empírica de mayor extensión que puede estudiarse desde la Geografía como ciencia empírica a través del análisis espacial que genera diagnósticos para luego actuar de manera aplicada.

En este marco, la razón humana se presenta como la principal fuente para la producción del conocimiento científico en un proceso de minimización de arbitrariedades al descubrir individualidades y realizar generalizaciones no contradictorias. Esto resulta posible porque la realidad existe de manera independiente del observador y la racionalidad se presenta como la forma principal de acceder a ella (Rand 2011).

A través de la postura constructivista, los sistemas complejos no están definidos, sino que deben definirse. Esta formulación se realiza a través de los *datos* como estímulos que proporciona la realidad, los *observables* como datos interpretados por el observador y los *hechos* con origen en la relación entre observables.

Resulta central destacar que a través de esta perspectiva se aborda la realidad como una estructura perteneciente a una totalidad estratificada, es decir, una realidad formada por niveles de organización semi-autónomos, en los que existen dinámicas específicas en cada uno de ellos. Este aspecto, desde un punto de vista epistemológico, permite contar con un marco conceptual general que da cuenta acerca de la estabilidad de determinadas teorías en niveles específicos y la imposibilidad de invalidar unas con otras al estar focalizadas en diferentes planos de la realidad.

Consideramos que esto se modelaría como una perspectiva en tercera dimensión en la estructura conceptual de los *Programas de investigación* analizados por Lakatos (1983), ya que podría existir un núcleo conceptual firme en cada nivel de análisis. En este sentido, la Geografía Cuantitativa se aboca a un nivel focal espacial y en este sentido los conceptos principales (Buzai 2010) son los de localización, distribución espacial, asociación espacial, interacción espacial y evolución espacial.

## El pensamiento geográfico como sistema complejo

Considerando la TSC se puede pensar que cada paradigma de la Geografía pone su foco de atención en un nivel focal diferente dentro de la estructura de una realidad estratificada en diferentes niveles de análisis. Esta situación podría explicar el motivo por el cual en Geografía nunca un paradigma desplazó completamente al anterior.

En Buzai (2014) se verifica que el nivel focal estaría ocupado por las actuales perspectivas de la Geografía del Paisaje y la Geografía Cuantitativa, ambas con vocación práctica en el Ordenamiento Territorial. Podemos reconocer un nivel supra-focal ocupado por la Geografía Radical Crítica de sustento marxista apoyada en una perspectiva económica global y un nivel infra-focal ocupado por la Geografía Humanista orientada al estudio de la percepción individual y el análisis de la espacialidad cotidiana. Conceptos como los de *percepción*, *imagen mental* o *actitudes* si bien pueden ser de utilidad para estudiar realidades geográficas no son conceptos centrales, dado que en este caso provienen de la Psicología.

Una perspectiva que actualmente hace confluír ambos niveles extremos es la Geografía Posmoderna (Soja 1989; Harvey 1990) que aborda lo individual y fragmentado apoyándose en conceptos provenientes de los estudios culturales que intentan superar el *pecado del economicismo* (Harvey 2007) de la perspectiva global, aunque la cultura global del capitalismo mundial se impone en la totalidad de las estructuras de la realidad.

En el nivel focal de la Geografía Cuantitativa y la Geografía Automatizada, el núcleo de conceptos duros parte de la definición de Geografía realizada por Albert Demangeon (1872-1940) (Vilá Valenti 1983) y desde los Sistemas de Información Geográfica puede verse en los trabajos de Nyerges (1991) y Nyerges y Golledge (1997) brindando el núcleo duro de gran parte de las aplicaciones (Buzai 2010; Buzai y Baxendale 2011).

Se hará una inicial y sintética definición de los conceptos ya mencionados: *localización*, como la ubicación espacial de entidades geográficas en el espacio absoluto, relativo y relacional, *distribución espacial*, como la forma en que se reparten estas entidades sobre la superficie terrestre, *asociación espacial*, cuando las diferentes

entidades localizadas y distribuidas se vinculan mediante relaciones de tipo vertical, *interacción espacial* ante movimientos horizontales en un espacio relativo y *evolución espacial*, ante la incorporación de la dinámica temporal, que permite ver de qué manera cambian las configuraciones espaciales con el tiempo. Finalmente, la síntesis geográfica estaría dada por la combinación de las construcciones operativas surgidas de estos conceptos.

La Geografía Aplicada basada en el uso de SIG estaría apoyada siempre por alguna combinación específica de estos conceptos, los que ocupan el núcleo de la Geografía como ciencia espacial. Desde allí se podrá transitar en cambios de niveles y realizar la búsqueda de confluencia paradigmática. El intento de realizar estudios completos implicaría actuar en la focalización espacial y llegar a una síntesis para avanzar, a partir de ella, en diferentes niveles de focalización donde los paradigmas en conjunto brindarían el abordaje geográfico más completo de la realidad geográfica bajo estudio.

### **Perspectiva empírica por una Geografía de lo real**

El hábitat humano genera el sistema Mundo y el planeta brinda el espacio absoluto del sistema Tierra, el cual no es un conocimiento *a-priori*, sino que fue construido a través de la experiencia concreta (García 2000). Ambos en conjunto representan la materialidad empírica de mayor extensión para los estudios geográficos y proveen el dominio material de la Geografía como ciencia. Considerar ambos componentes en vinculación permite considerar la perspectiva sistémica en Geografía mediante cambios de escala desde la superficie del planeta completa con sus 510 millones de kilómetros cuadrados hasta el sitio, aunque como fue visto en Buzai y Cacace (2012) en el universo esto es sólo una parte de escalas más amplias.

La TSC permite contar con un marco conceptual que puede abarcar el sistema total teniendo un claro criterio demarcatorio en el abordaje de las diferentes escalas de análisis y procesos. Considerar la actividad científica, y con ello a la Geografía, como ciencia empírica significa prestar atención a la materialidad de su objeto de estudio.

En este contexto, la razón aparece como la principal fuente del conocimiento científico al minimizar la arbitrariedad en el momento de realizar generalizaciones no contradictorias y avanzar hacia la construcción de conocimientos científicos. Esto resulta posible porque existe una materialidad independiente del observador que brinda objetividad (Rand 2011) y es por eso que es posible verificar claramente que el análisis de la realidad puede orientarse, utilizando conceptos de Soros (2010), hacia una función cognitiva dejando de lado una función de manipulación, esta última vinculada a la actividad política.

Los sistemas son definibles ya que deben surgir a partir de un recorte realizado en la totalidad. La construcción sistémica en cualquier escala y extensión se realiza a través de los *datos* como estímulos generados por la realidad, los *observables* como datos interpretados por el observador, y los *hechos* formados por la relación entre observables.

Cuando se estudian sistemas complejos es posible utilizar teorías diferentes y específicas para cada escala. Entre lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño se encuentra la escala humana (de Rosnay 1977) y en esta escala la Geografía aporta mediante su focalización espacial.

La Geografía Aplicada se basa actualmente en el análisis espacial cuantitativo con SIG y su focalización es empírica. Para lograrlo su hilo conductor parte de considerar que la realidad existe (*realismo*), que puede ser estudiada a partir de sus elementos materiales (*materialismo*), que estos elementos se relacionan ampliamente en la conformación de sistemas (*sistemismo*) y que la forma más eficiente de acceder a ello es a través de la ciencia (*cientificismo*) (Bunge 2012, 2014). De esta manera, el método de abordaje de la realidad corresponde a un *materialismo sistémico* de definición disciplinaria y alcance interdisciplinario.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

A lo largo de los puntos precedentes fue trazado un panorama que lleva a la definición de la Geografía Cuantitativa buscando algunas

raíces conceptuales en la Astronomía en tanto ciencia inicialmente ligada al aspecto general de la disciplina. A partir de ellos surgió un hilo conductor formado por las siguientes temáticas:

- *Generalización.* La Geografía Cuantitativa tiene interés por el espacio geográfico a través de la delimitación de la superficie terrestre y principalmente por sus aspectos generalizables. La realidad es el punto de partida y el lugar de regreso cuando la metodología de investigación combina el camino inductivo con el deductivo. La generalización permite la construcción de modelos y la formulación de leyes científicas para explicar la realidad socioespacial.
- *Definición sistémica.* La Geografía Cuantitativa provee a la Geografía de una tercera definición que se suma a las tradicionales de carácter ecológico (estudio de la relación hombre-medio) y corológico (estudio de la diferenciación areal), al ser una ciencia con foco en las leyes que rigen las pautas de distribución espacial. De esta manera amplía sus posibilidades y de ser una ciencia interesada principalmente por el presente comienza a incorporar una visión prospectiva de futuro.
- *Observación.* La Geografía Cuantitativa, al igual que la Astronomía, se basa en la observación y mediciones. Aborda sus entidades en estudio como casos y a partir de muchas mediciones llega a las generalizaciones que luego pone a prueba explicando situaciones particulares. La consideración del monismo metodológico no estaría dada por la experimentación, sino porque todas las ciencias son principalmente observacionales, esto significa que parten de una base empírica.
- *Simplicidad.* La Geografía Cuantitativa busca soluciones simples. Se considera que toda explicación puede ser simple y cuanto mayor simplicidad tenga más cerca estará la verdad. Inclusive el uso de la TSC no invalida esta aseveración ya que complejo no significa complicado. Y muchas veces, como lo demostraron Sokal y Bricmont (1999), el complicar las cosas es una estrategia para mostrar erudición magnificando contenidos endebles.
- *Enfoque sistémico.* La Geografía Cuantitativa estudia una realidad como totalidad organizada y de la misma forma cada recorte que se haga en ella. Por lo tanto el enfoque sistémico puede ser aplicado en diferentes escalas de análisis. La TSC amplía a la TSG y

brinda soluciones para su abordaje a partir de la utilización de teorías y metodologías específicas en cada nivel.

- *Pensamiento geográfico en la teoría sistémica.* La Geografía Cuantitativa considera a la Geografía como *ciencia espacial*. Porque su nivel de focalización es espacial y su núcleo conceptual está compuesto por conceptos de anclaje espacial. De la misma manera otros paradigmas de la Geografía estarían actuando en diferentes niveles de análisis y, en ese sentido, sus conceptos apoyarían anclajes supra-focales o infra-focales, desde las relaciones económico-políticas globales hasta la mente humana respectivamente. Sin dudas todos abordajes útiles para un análisis geográfico total, siempre que no se combinen aspectos contradictorios. La TSC demuestra por qué en Geografía nunca un paradigma pudo desplazar a otro: las discusiones fueron planteadas en niveles diferentes.
- *Por una Geografía de lo real.* La Geografía Cuantitativa es una perspectiva empírica, sus temáticas de análisis y sus problemáticas parten de la realidad, se realiza una abstracción y luego vuelven a ella para mejorarla a través de la ciencia aplicada. La realidad existe independientemente de quien la perciba y, de esa forma, sus estudios estarán orientados a la solución de problemáticas estructurales concretas, aquellas que pueden representar las bases necesarias para mejorar realmente la calidad de vida de la población.

Es en este contexto en el que se evidencia el papel social de la ciencia y la Geografía Cuantitativa demuestra constantemente su utilidad como herramienta que apoya el proceso de toma de decisiones en materia territorial. Las Tecnologías de la Información Geográfica representan el componente central de la actual etapa de desarrollo (Buzai y Ruiz 2012; Moreno Jiménez 2013) y, su uso, permite encontrar soluciones reales apelando a procedimientos racionales que se apoyan en la simplicidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baxendale, C.A. 2012. El estudio de la problemática ambiental en América Latina. Revisión de aportes teórico-epistemológicos: Gallopin, García y Leff. *Fronteras*. 11:13-27.
- Bertalanffy, L. von. 1968. *General System theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller. New York.
- Bunge, M. 2012. *A la caza de la realidad*. Gedisa. Barcelona.
- Bunge, M. 2014. *Memorias. Entre dos mundos*. EUDEBA. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. 2010. Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica: sus cinco conceptos fundamentales. En: G.D. Buzai (ed.), *Geografía y Sistemas de Información Geográfica*, pp. 163-195. Universidad Nacional de Luján.
- Buzai, G.D. 2014. Geografía, complejidad e investigación aplicada. *Boletín Cuyano de Geografía* 102: 46-66.
- Buzai, G.D. y G. Cacace. 2012. El concepto de espacio. *Si Muove* 5: 34-38.
- Buzai, G.D. y E. Ruiz, 2012. Geotecnósfera. Tecnologías de la Información Geográfica en el contexto global del sistema mundo. *Anekumene* 4: 88-106.
- Capel, H. 1980. Sobre clasificaciones, paradigmas y cambio conceptual en Geografía. *El Basilisco* 11: 4-12.
- de Rosnay, J. 1977. *El macroscopio. Hacia una visión global*. AC. Madrid.
- García, R. 2000. *El conocimiento en construcción*. Gedisa. Barcelona.
- García, R. 2006. *Sistemas Complejos*. Gedisa. Barcelona.
- Harvey, D. 1990. *The Condition of Postmodernity: An Enquiry into the Origins of Cultural Change*. Blackwell. Malden.
- Harvey, D. 2007. *Una geografía urbana posible*. En: J.; Berger y D. Harvey, *Boulevard Central*, pp. 59-94.. Edhasa. Buenos Aires.
- Kuhn, T.S. 1981. *La revolución copernicana*. Ariel. Barcelona.
- Lakatos, I. 1983. *La metodología de los programas de investigación*. Alianza. Madrid.
- Moreno Jiménez, A. 2013. Entendimiento y naturaleza de la cientificidad geotecnológica: una aproximación desde el pragmatismo geotecnológico. *Investigaciones Geográficas* 60: 5-33.

- Nyerges, T.L. 1991. Analytical Map Use. *Cartography and Geographic Information Systems* 18(1): 11-22.
- Nyerges, T.L. y R.G. Golledge. 1997. *Asking Geographic Questions. NCGIA Core Curriculum in Geographic Information Science*, University of California. Santa Barbara.
- Rand, A. 2011. *Introducción a la Epistemología Objetivista*. El Grito Sagrado. Buenos Aires.
- Russell, B. 1985. *La perspectiva científica*. Sarpe. Madrid.
- Sagan, C. 1995. ¿Podemos conocer el universo? En: M. Gardner (ed.) *El escarabajo sagrado*. Salvat. Madrid.
- Soja, E. 1989. *Postmodern Geographies: The Reassertion of Space in Critical Social Theory*. Verso. London.
- Soblel, D. 2006. *Los planetas*. Anagrama. Barcelona.
- Sokal, A. y J. Bricmont. 1999. *Imposturas intelectuales*. Paidós. Buenos Aires.
- Soros, G. 2010. *The Soros Lectures at Central European University*. Public Affairs. New York.
- Vidal, J.M. 1973. *El Sistema Solar*. Salvat. Navarra.
- Vilá Valenti, J. 1983. *Introducción al estudio teórico de la Geografía*. Ariel. Barcelona.



# ORDENAR EL TERRITORIO CON BASE EN LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA

*Claudia A. Baxendale*

## INTRODUCCIÓN

FOCALIZÁNDONOS en la Geografía Cuantitativa nos proponemos presentar potenciales articulaciones existentes entre este enfoque geográfico y la práctica multidisciplinar del ordenamiento territorial.

Para ello comenzamos por conceptualizar al *ordenamiento territorial* como práctica multidisciplinaria con sus ejes de abordaje, sus componentes y sus enfoques. En segundo lugar se singulariza a la Geografía Cuantitativa contextualizándola al interior del enfoque paradigmático que la caracteriza para señalar finalmente potenciales aportes que desde el análisis geográfico en base a procedimientos cuantitativos pueda realizarse al ordenamiento territorial.

## EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL COMO PRÁCTICA MULTIDISCIPLINAR

Varios autores consideran que el *ordenamiento territorial* consta de dos componentes bien definidos, diferenciados pero fuertemente articulados, los cuales son la Planificación y la Gestión territorial (Barragán Muñoz 1997; Tapiador 2001; Gómez Orea 2008). Podemos definir el componente o fase de la *Planificación* como una instancia tecnológica científica donde se postula el Plan como documento para guiar la acción en el futuro y donde, en base a la formulación de objetivos consensuados, se realizan los diagnósticos pertinentes y se explicitan propuestas de acción alternativas, las cuales serán evaluadas para seleccionar las posibles de ser llevadas a cabo. Por su parte el componente de *Gestión* se relaciona con la toma de decisiones en los ámbitos político-institucionales, para realizar las tareas ejecutivas que permitan materializar las propuestas, controlarlas y realizar los seguimientos pertinentes de acuerdo a lo planificado en función a objetivos y fines concretos a lograr.

En base a esta definición del ordenamiento territorial podemos señalar su diferencia con la *organización del territorio* al considerar que aquel se refiere a dicha organización pero enmarcada dentro de políticas de estado, claramente especificadas, para ser ejecutadas por los gobiernos correspondientes (Roccatagliata 1986).

Como política de estado a ejecutar surge en el ordenamiento territorial una diferencia desde una concepción epistemológica que ha llevado a Pierro *et. al* (2004) a considerar dos tipos de abordajes en estas prácticas: (a) los que tienen como eje principal las **relaciones entre los agentes e instituciones** involucradas en la ordenación territorial y (b) aquellos donde el eje principal es el **territorio en sí**, sus aspectos físicos y ambientales -naturales y construidos-.

Entendemos que estos dos abordajes implican la participación de diferentes tipos de disciplinas. La Geografía como ciencia aporta indiscutiblemente al segundo eje y, en este sentido, la formación del geógrafo debe ofrecer los conocimientos para este tipo de abordaje. Por su parte seguramente disciplinas como la Sociología, Psicología Social, Ciencias Políticas, Administración Pública, ofrecen respuestas más acabadas al momento de tratar cuestiones relacionadas con el primer eje.

Por su parte la planificación y la gestión territorial han presentado diferentes enfoques a lo largo de su práctica caracterizándose por un abordaje más físico y técnico durante sus décadas de auge -que podemos ubicar, a grandes rasgos, durante el siglo veinte hasta la década de 1980-, para luego, como afirma Sánchez (2007:187):

*A partir de los años ochenta del siglo pasado se fueron reemplazando los términos planificación y planeamiento por ordenación, ordenamiento y sobre todo gestión, que tiene un sentido de amplia participación y búsqueda de consenso entre los distintos actores sociales involucrados en el cambio.*

*En concordancia con lo señalado, en los últimos quince o veinte años se ha venido planteando la existencia de un nuevo contexto urbano, que requiere de un urbanismo con nuevos principios, en el que la concepción participativa ya no deja lugar a los modelos urbanos.*

*En relación con lo anterior, en materia de escala se privilegió entonces el desarrollo local, el de la ciudad, el barrio o el municipio, que permite la discusión cara a cara, por sobre el regional, que empezó a ser fuertemente criticado por implicar una planificación desde arriba.*

Así entonces se fue poniendo más énfasis a la gestión que a la planificación, a la participación desde abajo que a las directrices desde arriba, a cuestiones más sociológicas de los agentes involucrados en la práctica que a cuestiones más físicas, naturales y construidas, del territorio planificado. A este último aspecto se contraponen la fuerte impronta ambiental que la planificación y la gestión territorial ha tenido desde la década de 1970 luego de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo en el año 1972, sin embargo, hasta las problemáticas ambientales comenzaron a ser abordadas desde cuestiones más perceptivas que concretas y reales.

En relación con el ordenamiento territorial en América Latina trabajos como el de Massiris (2008) han ofrecido interesantes análisis y diagnósticos en base al estudio de las normativas y documentos oficiales donde se busca asentar los presupuestos básicos, fines y objetivos de esta práctica en diferentes países. Como indica este autor la tendencia observable en los objetivos del ordenamiento territorial hacia la primera década del siglo XXI postula alternativas de desarrollo regionalmente armónicos y equilibrados, socialmente justos, democráticos y participativos, descentralizados, ambientalmente sostenibles, respetuosos de la diversidad cultural, y económicamente competitivo; siendo normal encontrar este tipo de ideas en los programas de Gobierno y discursos políticos de los gobernantes de casi todos los países de América Latina. En el análisis de la gestión territorial que ha realizado concluye que en algunos países de América Latina se observan varias tensiones relativas a: (a) la articulación de la política de ordenamiento territorial con la política de desarrollo económico y las políticas sectoriales ligadas a ésta, (b) la cohesión territorial de la gestión, (c) la sostenibilidad ambiental del desarrollo territorial y (d) la gestión territorial democrática; tensiones cuya superación continúa siendo un desafío para algunos gobiernos.

La situación tampoco es óptima en otras regiones del mundo, aunque consideramos notorias las diferencias con países de América Latina. Al respecto en relación a la situación del ordenamiento territorial en España, Troitiño Vinuesa (2013:29) considera que “...se ha implantado una interpretación simplista del territorio que, con gran ceguera cultural y medioambiental, lo hacía equivaler a suelo con posibilidades de aprovechamiento urbanístico –cuanto más elevado mejor- algo que ha calado hondo en el tejido social...” proponiendo entonces la necesidad de una nueva interpretación, una nueva cultura del territorio entendido como recurso de dimensiones múltiples –ambientales, económicas, sociales y culturales- y como factor de identidad al ser depositario del patrimonio natural y cultural.

Corresponde señalar que el ordenamiento territorial como práctica, al igual que cualquier tecnología, si bien se basa en conocimientos científicos, desde lo epistemológico se diferencia de la ciencia por presentar además un diseño de procedimientos y acciones para solucionar problemas o modificar la realidad en base a objetivos, fines, propuestas, criterios y valores éticos y estéticos, sumando entonces al conocimiento científico la experiencia e idoneidad de los profesionales involucrados en la práctica o uso de la tecnología (Klimovsky 1995; Scarano 1999). Esta diferencia no siempre se toma en cuenta pero es en base a ella que consideramos al ordenamiento territorial como una práctica multidisciplinar y no como una nueva disciplina en formación según plantean algunos autores tal el caso de Salinas Escobar (2008) en el capítulo introductorio a una compilación de experiencias internacionales sobre la temática.

## **LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA: POSITIVISMO Y ANÁLISIS ESPACIAL EN EL CONTEXTO DE LA DISCIPLINA**

Como hemos sistematizado en trabajos anteriores (Baxendale 2010 y 2015) en un plano epistemológico de análisis, la Geografía cuenta con una diversidad de **visiones paradigmáticas** que podríamos sintetizar en dos **grandes enfoques**:

- (a) Enfoques historicista, romántico, cultural, humanista, perceptivo, simbólico, crítico social y crítico radical basados en vertientes filosóficas-epistemológicas como la fenomenología, el existencialismo, la teoría crítica, el holismo, la hermenéutica.
- (b) Enfoques positivista o neopositivista, teórico, naturalista, ambientalista, sistémico, de vertientes filosóficas-epistemológicas aristotélicas, o bien sistémicas, realistas (Bunge 2012) y objetivistas (Rand 2011).

Estos dos grandes enfoques epistemológicos resultan, en ocasiones, *inconmensurables* al no poder compararlos con los mismos parámetros en función de proponerse:

1. *Diferentes concepciones ontológicas de la realidad*: La realidad existe o no en forma independiente de quienes buscan conocerlos.
2. *Diferentes concepciones gnoseológicas*: La realidad puede o no ser conocida.
3. *Diferentes objetivos de conocimiento*: Se busca abordar estudios idiográficos, de lo singular, donde se llega a negar la posibilidad de las ciencias humanas de realizar generalizaciones; o bien estudios de índole nomotético buscando generalidades y regularidades espaciales.
4. *Diferente peso o importancia que se le da a los factores ambientales y espaciales en el análisis en función de las diferentes concepciones del espacio geográfico*: Estudios donde dichos factores llegan a quedar sumidos en la “contingencia histórica” teniendo entonces cuestiones sociales, culturales, económicas y políticas mayor peso explicativo; o estudios donde éstos factores ambientales y espaciales son explicativos en el análisis de la organización del territorio.
5. *Diferentes concepciones del espacio geográfico* pudiendo ser considerado como:
  - el medio ambiente que ofrece recursos para la vida del hombre y encierra riesgos;

- soporte físico ya sea natural, modificado o construido donde el hombre desarrolla su vida en sociedad;
- área singular, única e irrepetible en su concepción histórico-cultural;
- espacio absoluto y espacio relativo en sus concepciones cuantitativas;
- espacio vivido, concebido, percibido, o como "imagen mental" - representación subjetiva de un grupo humano-, en concepciones donde priman los sentimientos, lo afectivo, lo imaginario y simbólico en la experiencia sobre el espacio geográfico;
- producto social, como reflejo de cuestiones sociales y/o económicas o como ambiente de conflictos sociales en concepciones críticas.

El predominio de un enfoque epistemológico sobre otro fue planteado por Capel (1983) a modo de un movimiento pendular a lo largo de la historia de la Geografía. Por su parte para Buzai (1999) ningún paradigma logró desplazar completamente a otro en la historia de la Geografía. Por su parte Sánchez (2007) sostiene que la dialéctica positivismo-humanismo sigue vigente entre estas dos grandes corrientes del pensamiento científico contemporáneo siendo consideradas por el autor como inconmensurables y complementarias a la vez y caracterizada por los siguientes pares de contrarios: Empirismo *versus* Hermeneútica; Unicidad *versus* Ciencias Especiales; Nomotético *versus* Ideográfico; Explicación *versus* Comprensión; Objetividad *versus* Subjetividad; Neutralidad *versus* Compromiso; Lenguaje lógico-matemático *versus* Idiomas tradicionales.

Si bien en Geografía, como en otras ciencias sociales, ningún paradigma logró desplazar a otro queda claro que la Geografía Cuantitativa adhiere a enfoques positivistas y en este contexto, adhiriendo a las palabras de Sánchez (2007:25)

*... el análisis espacial es diagnóstico y prospección, ... , valora la búsqueda de la objetividad antes que las percepciones subjetivas; utiliza importantes volúmenes de información, generalmente cuantitativa, antes que categorizaciones verbales; suele centrarse en grandes territorios antes que en pequeñas comunidades; abarca las problemáticas de manera*

*sistémica, integral, antes que de un modo fragmentado o parcial; persigue, ante todo, la búsqueda de la verdad científica para beneplácito de la humanidad toda, antes que las proposiciones demagógicas que arengan a la lucha de clases pero son funcionales a la consolidación de privilegios personales o de clase; propugna, finalmente, una ética científica antes que una ética social de dudosa entidad.*

Bajo un enfoque ontológico realista (Bunge 2012) y gnoseológico objetivista (Rand 2011) consideramos al espacio geográfico -como objeto formal de estudio de la Geografía-, y al territorio -como objeto material de estudio compartido con otras disciplinas- como una realidad objetiva donde el ambiente físico-natural y construido actúa como soporte para la vida en sociedad (Dollfus 1982) ofreciendo recursos y encerrando riesgos (Durán *et al.* 1996) que son independientes de las percepciones de la sociedad. Al respecto cabe señalar en palabras de Bunge (2012:41)

*Otra distinción que no debe confundirse con una dicotomía es la que hay entre hechos naturales y sociales o entre lo "bruto" y lo "institucional", (...) Es verdad, hay hechos puramente naturales, como los terremotos, que ocurren independientemente del estado de la sociedad y ya sea que los percibamos o no.*

Considerando este abordaje el estudio del territorio conlleva el lograr comprender y explicar su organización espacial y, para ello, su concepción como sistema complejo -como totalidad organizada- nos lleva a adherir a la visión de García (2006) quien considera una realidad estratificada donde teorías y métodos utilizados en un determinado nivel pueden no resultar pertinentes para ofrecer explicaciones de procesos y fenómenos en otro nivel o planos de la realidad. En este planteo consideramos que debería residir la complementariedad necesaria entre visiones paradigmáticas para lograr explicaciones más acabadas de las organizaciones espaciales en sus diferentes escalas.

En base a esta concepción Buzai (2006:40) considera entonces que la realidad, como sistema complejo, no puede ser explicada desde una teoría única; por lo cual diferentes escalas de análisis

pueden beneficiarse a través del uso de diferentes cuerpos teóricos donde cada enfoque en Geografía podrá explicar parte de la realidad pero no su totalidad -dado que en esta disciplina científica ningún paradigma logró desplazar a otro-, buscando verificar *“aquellos aspectos compatibles multiparadigmáticos que se pueden utilizar para lograr la explicación más completa de la realidad compleja”*.

Bajo esta visión los niveles de abstracción fuertemente criticados al positivismo encuentran su anclaje concreto en el territorio como realidad de la cual se parte y la cual busca ser estudiada con métodos cuantitativos -a nivel exploratorio para el planteo de hipótesis o metodologías estadísticas para la confirmación o planteo inductivo de generalidades-, o bien como realidad que busca ser contrastada con teorías y modelos ya formulados para corroborarlos o refutarlos y lograr avances teóricos.

#### **APORTES DEL ANALISIS GEOGRÁFICO AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN BASE A MÉTODOS CUANTITATIVOS**

En las últimas décadas las metodologías cuantitativas de análisis espacial en general y del análisis geográfico en particular, se han puesto a disposición a través del uso cada vez más difundido de las Tecnologías de la Información Geográfica -entre ellas los Sistemas de Información Geográfica-, en ámbitos públicos relacionados con la planificación y gestión territorial.

Entendemos el análisis geográfico como un análisis del territorio donde se integran y sintetizan diferentes variables de modo de lograr la composición de un todo por la reunión de sus partes. Esta definición se basa en el supuesto de considerar a la ciencia pura como un cuerpo de conocimientos racionales, sistemáticos, organizados, verificables, falibles que fueron adquiridos por un método específico y que buscan establecer regularidades y generalidades. Para el caso específico de la Geografía estas generalidades se relacionan a las manifestaciones espaciales de la relación entre el hombre y su ambiente y permitirían llegar a explicar y predecir patrones de localización, distribución, asociación, interacción y evolución de fenómenos sobre el territorio según teorías y metodologías adoptadas (Buzai y Baxendale 2006, 2011 y 2012).

**Cuadro 1.** Procedimientos espaciales en el diagnóstico y formulación de propuestas para el ordenamiento territorial en base a metodologías cuantitativas. Sintetizado y adaptado de Buzai y Baxendale (2013).

PROCEDIMIENTOS	DIAGNÓSTICOS	PROPUESTAS
Generalización por reclasificación	Tratamiento de capas temáticas individuales para la unión de clases para generar nuevas en base a un concepto genérico. Creación de mapas booleanos.	Zonas de restricción de determinado uso según criterios de selección de clases.
Modelado cartográfico	Superposición temática para la definición de regiones geográficas formales	Zonas de restricción de determinado uso según criterios de asociación de usos existentes para evitar usos incompatibles del suelo
Evaluación multicriterio	Mapas de aptitud para potenciales usos del suelo	Sitios candidatos para la localización de determinada actividad económica o uso del suelo.
Análisis de evolución temporal	Modelado cartográfico con capas temáticas de diferentes momentos históricos	Zonas a restringir determinado uso del suelo no deseado con alta probabilidad de ocurrencia o zonas a incentivar determinado uso del suelo en función de tendencias ya presentes.
Clasificación multivariada	Zonificación del área según tema y variables consideradas a modo de obtener mapas síntesis.	Regionalización del territorio en función de la gestión que debe realizar un determinado organismo de gobierno en base a unidades espaciales ya definidas desde lo político – administrativo o cesal.
Análisis de áreas de influencia, accesibilidad e interacción espacial	Determinación de las áreas de influencia de un determinado servicio para diagnosticar las áreas no cubiertas por el mismo.	Localización potencial de determinado servicio en función de áreas no cubiertas.
Análisis de concentración y autocorrelación espacial	Existencia o no de autocorrelación espacial en la distribución de determinada variable.	Localización de determinado uso del suelo que evite la difusión de otro uso no deseable que presenta autocorrelación espacial.

En el Cuadro 1 se presentan, a modo de ejemplo, procedimientos espaciales en el diagnóstico y formulación de propuestas para el ordenamiento territorial en base a metodologías cuantitativas.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

Acorde con lo planteado por Buzai (1999) quien considera al paradigma geotecnológico no como un nuevo paradigma al interior de la Geografía como ciencia, sino como un paradigma geográfico que la disciplina ofrece al resto de las ciencias con mayor alcance interdisciplinario, no es extraño llegar a conclusiones como a las arribadas en Baxendale (2000) donde hemos presentado las interrelaciones entre los diferentes enfoques de la Geografía y la práctica de la planificación urbana-regional en las últimas décadas del siglo XX postulando la necesidad de una integración paradigmática y el resurgimiento de posturas neopositivistas -junto a revalorizaciones de enfoques sistémicos y ecológico-ambientales-, frente a las limitaciones de enfoques paradigmáticos que buscaron imponerse desde las posturas críticas.

Según Sanchez (2007) la Geografía logró alcanzar un papel protagónico en el contexto de las ciencias como consecuencia del desarrollo del análisis espacial cuantitativo y de la geoestadística a partir de la filosofía científica del neopositivismo.

Por su parte en relación a la vinculación de la Geografía con el urbanismo y la planificación urbana-regional también hemos concluido cómo durante las primeras seis décadas del siglo XX hubo un aporte muy importante desde la primera a las segundas en tanto que el aporte tuvo la otra dirección en etapas previa y posterior: (a) durante la segunda mitad del siglo XIX, donde el urbanismo le propone a la geografía nuevos temas de estudio y un cambio de escala de lo macro a lo micro en los análisis, y (b) a partir de la década de 1970 con el advenimiento del paradigma radical donde la sociología y la economía política a través del urbanismo le aporta un nuevo marco teórico al considerar al espacio como producto social - si bien la Geografía le sigue aportando al urbanismo conceptos y enfoques de análisis a nivel práctico-operacional- (Baxendale 1999).

Para concluir debemos considerar que el fuerte protagonismo que la gestión y la participación han cobrado en el ordenamiento territorial deberá ir acompañado por enfoques sistémicos y metodologías de análisis espacial cuantitativas si buscamos lograr una práctica del ordenamiento territorial integral donde el territorio en sí no quede subsumido a cuestiones meramente sociales, políticas y económicas donde la Geografía, como ciencia, quedaría subordinada a otras disciplinas con mayor competencia en la temática pero obviando elementos, procesos y fenómenos con fuerte incidencia en la organización del territorio y en el bienestar de la población en su conjunto.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Barragán Muñoz, J.M. 1997. *Medio ambiente y desarrollo en las áreas litorales. Guía práctica para la planificación y gestión integradas*. Oikos -Tau. Barcelona.
- Baxendale, C.A. 1999 Cambios paradigmáticos: sus manifestaciones en la Geografía y el Urbanismo y los aportes entre ambas disciplinas. Trabajo final para el Seminario Urbanismo y Ciudad. Especialización en Planificación Urbana-Regional. PROPUR-FADU-UBA.
- Baxendale, C.A. 2000. Geografía y Planificación urbana-regional: una reflexión sobre sus enfoques e interrelaciones en las últimas décadas del siglo XX. *Reflexiones Geográficas* 9: 58-70.
- Baxendale, C.A. 2010. Geografía, organización del territorio y Sistemas de Información Geográfica. En: Buzai, G. (comp.), *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y aplicaciones*: 37-41. Universidad Nacional de Luján. Buenos Aires.
- Baxendale, C.A. 2015 Geografía y Ordenamiento Territorial: Demarcaciones conceptuales desde la teoría disciplinar a la práctica multidisciplinar. *Fronteras* 13: 29-37.
- Bunge, M. 2012. *A la caza de la realidad. La controversia sobre el realismo*. Gedisa. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. 1999. *Geografía Global*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- Buzai, G.D. 2006. "Acerca de la investigación científica actual" (Conferencia de Clausura de Seminarios del Observatorio Astronómico Centroamericano de Suyapa de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras – Maestría en Ordenamiento y Gestión Territorial- 26 de mayo de 2006). *Fronteras* 5: 39-41.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale 2006. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica. Temáticas de base raster*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2012. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 2: Ordenamiento territorial. Temáticas de base vectorial*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2013. Aportes del análisis geográfico con Sistemas de Información Geográfica como herramienta teórica, metodológica y tecnológica para la práctica del ordenamiento territorial. *Persona y sociedad* XXVII(2): 113-141.
- Capel, H. 1983. *Filosofía y ciencia en la Geografía contemporánea. Una introducción a la Geografía*. Segunda edición. Barcanova. Barcelona.
- Dollfus, O. 1982. *El espacio geográfico*. Segunda edición. Oikos-tau. Barcelona.
- Durán, D., C.A. Baxendale y L. Pierre. 1996. *La sociedad y los espacios geográficos. Argentina*. Troquel. Buenos Aires.
- García, R. 2006. *Sistemas Complejos*. Gedisa. Barcelona.
- Gómez Orea, D. 2008. *Ordenación Territorial*. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid.
- Klimovsky, G. 1995. *Las desventuras del conocimiento científico. Una introducción a la epistemología*. Segunda edición. A-Z Editora. Buenos Aires.
- Massiris Cabeza, A. 2008. Gestión del ordenamiento territorial en América Latina, desarrollo reciente. *Proyección* 4. Disponible en: <http://bdigital.uncu.edu.ar/3238>.
- Pierro, N.R., M.C. Podestá y D. Kullock. 2004. *Buenas Prácticas Docentes. Una aproximación a la didáctica de las cuestiones urbano-regionales en la formación de posgrado*. Ediciones Cooperativas. Buenos Aires.
- Rand, A. 2011 *Introducción a la Epistemología Objetivista*. Grito Sagrado. Buenos Aires.

- Roccatagliata, J.A. 1986. *Argentina. Hacia un nuevo ordenamiento territorial*. Pleamar. Buenos Aires.
- Salinas Escobar, M.E. (comp.). 2008. *El ordenamiento territorial: experiencias internacionales*. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad de Guadalajara.
- Sánchez, D. 2007. Contribución del análisis espacial a la ciencia y a la geografía: El caso de los métodos clasificatorios. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Filosofía, Historia y Letras, Universidad del Salvador.
- Scarano, E.R. 1999. *Metodología de las ciencias sociales*. Ediciones Macchi. Buenos Aires.
- Tapiador, F.J. 2001. El papel del Geógrafo en las directrices de ordenación territorial. *Boletín de la AGE-Asociación de Geógrafos Españoles* 31: 137-147.



# ESTRUCTURA DIACRÓNICA DE LOS PROCESOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA

*Eloy Montes Galbán*

## INTRODUCCIÓN

ANTES de iniciar con el tema central de este capítulo queremos aclarar que la propuesta aquí planteada está basada en los trabajos del Dr. José Padrón (1992, 1998, 2001, 2007, 2013) sobre la “Estructura Diacrónica de los Procesos de Investigación”, así mismo en los intercambios académicos con el Dr. Gustavo Buzai (Universidad Nacional de Luján – Argentina) y el Prof. Adelmo Romero (Universidad del Zulia – Venezuela) quienes generosamente aportaron a la maduración de muchos de los conceptos aquí plasmados.

La motivación inicial para escribir estas líneas, radica en la falta de organización que se observa muchas veces en el quehacer de la investigación científica en general y la investigación geográfica en particular, al igual que en muchas áreas del conocimiento en geografía se realizan valiosos trabajos con excelentes resultados (Tesis de grado, postgrado, trabajos de ascenso, proyectos financiados) pero en esfuerzos aislados, que llevan a la desarticulación con respecto a otras investigaciones y al contexto social actual<sup>1</sup>, al respecto Padrón (2001:3) menciona

*Los datos esenciales que llevan a describir la Investigación Universitaria como un hecho individual son los siguientes: el investigador selecciona su tema particular, formula su propio problema de estudio, elabora su plan de trabajo, lo canaliza a*

---

<sup>1</sup> Un análisis detallado sobre el tema de organizar la investigación universitaria se encuentra en Padrón (2001).

*través de ciertos mecanismos administrativos, lo ejecuta y, finalmente, consigna los resultados en un paper publicable. Podemos decir que la máxima aspiración de un investigador o el destino final de un trabajo de investigación están en la publicación del reporte en una revista indexada. Nada más.*

Esto nos lleva a otro planteamiento del mismo autor, cuando refiere a que no debe olvidarse que los procesos de investigación pueden ser vistos en dos niveles: en cuanto trabajo realizado por un individuo (el investigador) y en cuanto programa llevado a cabo por grupos de individuos, a veces a lo largo de varias generaciones (agenda). En realidad, el trabajo individual carece de todo sentido cuando no se inserta en un programa (Padrón 2001). Una consecuencia directa del problema de las investigaciones individuales en la Geografía, es la carencia de producción de resultados que proporcionen reflexiones y sistematizaciones teóricas (Montes y Romero 2015). Mientras tanto continúa la necesidad de un cuerpo teórico consolidado en la disciplina, el presente trabajo tiene entre sus objetivos aportar una alternativa de solución en esa dirección.

Todo proceso de investigación desarrollado en universidades, centros e institutos de investigación, según Padrón (1998), debe llevar al investigador (ubicado en un contexto social, académico, profesional y personal) a responder inicialmente las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el Programa de Investigación en el que voy a inscribirme?
2. ¿Cuál es, dentro de un determinado Programa de Investigación, el enfoque epistemológico dentro del cual voy a manejarme?
3. ¿Cuál es, dentro del programa de Investigación seleccionado y dentro del enfoque epistemológico previsto, la fase diacrónica de desarrollo en la que voy a ubicarme?

El presente capítulo se centrará en orientar al investigador en Geografía Cuantitativa para dar respuesta a esas interrogantes,

llevándolo a un proceso investigativo organizado, que le permita planificar el diseño de un Programa de Investigación (o saber dónde insertarse en uno ya existente) a corto, mediano o largo plazo y así aportar al crecimiento y/o progreso del conocimiento en este caso geográfico.

## **ENFOQUES EPISTEMOLÓGICOS Y GEOGRAFÍA CUANTITATIVA**

Existen múltiples clasificaciones de Enfoques Epistemológicos que permiten orientar la investigación científica. La claridad en los mismos permite conocer el tratamiento de ciertos problemas, así como los caminos metodológicos a seguir y la correcta selección de las teorías de entrada a utilizar en una investigación.

Se asume la clasificación que parte de dos variables: "una es de tipo gnoseológico, referida a las convicciones acerca de la fuente del conocimiento, simplificada en dos valores: empirismo / racionalismo. La otra es de tipo ontológico, referida a las convicciones acerca de las relaciones del sujeto con la realidad, simplificada también en dos valores: idealismo / realismo" (Padrón 2007:5). El cruce de ambas variables genera cuatro tipos de Enfoques Epistemológicos bien definidos (ver Tabla 1).

En este caso, centraremos la atención en el enfoque empirista / realista (medicionismo, operacionalismo, instrumentalismo, probabilismo, inducción controlada) sirviendo de fundamento a las filosofías positivistas y estas a su vez a la Geografía Cuantitativa, como afirma Rodis - Lewis (citado por Sánchez, 2010) "*entre las fuentes filosóficas del positivismo científico se deben incluir tanto el empirismo como el racionalismo cartesiano*".

En la Tabla 1 se detalla la clasificación antes descrita, y se establece su relación con algunos de los enfoques de la Geografía, resaltando de color gris el cuadrante que fundamenta el Positivismo y se destaca por su carácter de: mediciones, operacionalismo, instrumentalismo, probabilismo.

**Tabla 1.** Enfoques Epistemológicos. En color gris los fundamentos de la Geografía Cuantitativa. Elaboración del autor en base a Padrón (2001, 2007).

<b>VARIABLE GNOSEOLÓGICA→</b> <b>(Fuente del conocimiento)</b>  <b>VARIABLE ONTOLÓGICA↓</b> <b>(Relación Sujeto-Objeto)</b>	<b>Empirismo</b>	<b>Racionalismo</b>
<b>Idealismo</b>	Etnografía, etnometodología, observación participante, investigación acción, inducción reflexiva. Ej. algunos enfoques de la Geografía Humanista y Geografía Cultural posmoderna.	Teoría crítica, neodialéctica, hermenéutica. Ej. Geografía Radical
<b>Realismo</b>	Positivismo, mediciones, operacionalismo, instrumentalismo, probabilismo, inducción controlada. Ej. Enfoque de la Geografía cuantitativa.	Deductivismo, falsacionismo, teoricismo, abstracciones, sistemas lógico-matemáticos, deducción controlada. Ej. Se toman algunos aspectos en el Enfoque de la Geografía cuantitativa.

La Geografía Cuantitativa bajo los supuestos del Positivismo, parte de la observación empírica como vía para identificar patrones de regularidad o frecuencia. Es importante destacar que estas vías de acceso al conocimiento como los mecanismos para su producción y validación pueden incluir el uso de instrumentos de observación y medición, ya que los patrones de regularidad se captan a través del registro de repeticiones de eventos, en el caso particular de la

Geografía cuantitativa actual se estaría hablando del uso de las Tecnologías de la Información Geográfica como instrumentos de registro y observación de la realidad (GPS, Teledetección, Cartografía digital, SIG, etc.).

El método puede ser inductivo y/o hipotético-deductivo, ya que en algunos casos la formulación de enunciados observacionales presupone un conocimiento significativo, y la guía de hechos observables relevantes se guía por ese conocimiento (Chalmers 2013).

El conocimiento, bajo este enfoque, es un acto de descubrimiento de patrones de comportamiento de la realidad.

## **GEOGRAFÍA CUANTITATIVA Y LA ESTRUCTURA DIACRÓNICA DE LOS PROCESOS DE INVESTIGACIÓN**

### **Estructura Diacrónica de los Procesos de Investigación**

El concepto de Programas de Investigación<sup>2</sup> de Lakatos (1978), que contempla la evolución de las teorías y el progreso de la ciencia, a través de un conjunto de reglas metodológicas (heurística) de las cuales algunas nos indican qué patrones de investigación se deben seguir (heurística positiva) y cuáles evitar (heurística negativa), fundamentado en esto, es que se introduce la propuesta de la estructura diacrónica (Padrón 1992, 1998).

La perspectiva diacrónica de la investigación se basa en que todo proceso de investigación trasciende al individuo (investigador) para

---

<sup>2</sup> La teoría de Imre Lakatos sobre el desarrollo de la ciencia gira en torno a los llamados Programas de Investigación. “Según él, la racionalidad del progreso científico exige la permanencia de un núcleo teórico (hard core, las leyes y los supuestos fundamentales de la ciencia) que ha de considerarse estable e inmune a la refutación, al cual acompaña un «cinturón protector» (protective belt) de hipótesis auxiliares, que sí pueden refutarse y cambiarse por otras más adecuadas, y un conjunto de reglas metodológicas (heurística), con las que se construye la estrategia de proteger el núcleo y reordenar o sustituir el conjunto de hipótesis auxiliares que se aceptan o desechan en función de los problemas y de las anomalías que se resuelven, o no” (Cortés y Martínez 1996).

ubicarse en redes de problemas, temas e intereses que por lo regular abarcan largos periodos históricos y generaciones de investigadores (por ejemplo, la evolución de los modelos de localización en geografía ha sido trans-generacional). Esto permite que Grupos Académicos confluyan en un problema global o temática de trabajo, logrando una secuencia de desarrollo. Los investigadores pueden mantener un contacto directo o indirecto (virtual o través de la producción científica). Al respecto Padrón (1998) menciona que algunas veces se trata de contactos por lecturas de los trabajos producidos dentro del grupo, aun sin conocerse personalmente y hasta sin pertenecer a una misma época o lugar, y otras veces se trata de efectivos encuentros e intercambios en tiempo y espacio reales.

La secuencia de desarrollo investigativo en torno a un problema global puede representarse en cuatro fases sucesivas, también llamadas "*Fases de la Estructura Diacrónica de la investigación*" (FEDI por sus siglas). Antes de iniciar la descripción de las FEDI, se quiere hacer mención de la salvedad hecha por su principal exponente, donde explica que no es una tesis definitivamente confirmada por evidencias fácticas concluyentes ni sistematizadas (Padrón 2013), sino que es considerada una hipótesis que pretende someterse a falsación. Sin embargo, durante el transcurrir de 20 años en la línea de investigación que la promueve (Línea de Investigación en Enseñanza/Aprendizaje de la Investigación, LINEA-I) no se han encontrado evidencias empíricas que la contradigan al punto de tener que desecharla; al contrario, se ha llevado a la práctica investigativa en diversas áreas del conocimiento como: la lingüística-discursiva; contextos organizacionales de producción de conocimiento científico; en estudios de los factores de clima y cultura organizacionales; en el diseño de un modelo de gestión para centros de investigación universitaria, presentando en todos los casos, datos a favor de esta hipótesis. En este particular, se quiere llevar a la gestión de investigaciones el plano de la Geografía Cuantitativa.

Al detectarse un problema de interés científico se inicia un *programa de investigación*, que al pasar del tiempo va sumando personas (investigadores) interesadas hasta llegar a conformar un

grupo académico. Dicho programa tendrá un desarrollo progresivo que pasa por las siguientes fases:

- *Fase descriptiva*: esta primera fase, se inicia por determinar cuáles son los hechos de la realidad que son poco conocidos y relevantes para ser investigados (Ej. necesidades de calidad de vida). El objetivo en esta etapa es definir y caracterizar sistemáticamente los hechos que tienen lugar dentro de una realidad. En el caso de un enfoque empirista-inductivo, las técnicas de trabajo típicas son las mediciones por cuantificación aritmética o estadística. Padrón (2013) indica que las descripciones conducen a subclases y a sub...,-subclases de hechos, al mismo tiempo que se examinan las posibles relaciones entre todos esos dominios de 'n' niveles. Una vez agotada la fase de descripción se llega a un punto de saturación y se pasa a la siguiente fase en el programa con un nivel de complejidad mayor.
- *Fase explicativa-teórica*: una vez logrado el conocimiento descriptivo sobre los hechos de interés, surge la interrogante: ¿por qué se comportan del modo en que están descriptos? Así se inicia la fase de construir teorías, elaborando modelos teóricos que expliquen el funcionamiento de los hechos atribuido al programa de investigación.
- *Fase contrastiva*: esta tercera fase de la secuencia diacrónica, consiste principalmente en evaluar las teorías elaboradas en la fase anterior. Como afirma Padrón (2013) se trata ahora de someter las teorías a crítica, de examinar su consistencia, su completitud y precisión.
- *Fase aplicativa o tecnológica*: por último, una vez que se dispone de una red teórica suficientemente confiable, el programa de investigación pasa a la fase aplicativa. Esta fase se ha convertido en la actualidad en la mejor forma de medir la productividad del conocimiento científico-técnico. Su principal propósito es intentar aprovechar las teorías ya evaluadas para el "control de la realidad", que en una concepción de la ciencia para mejorar la calidad de vida, se aplicaría el conocimiento científico al "control y cambio del mundo" a favor de las necesidades sociales.

Esta última fase de un programa de investigación, permite cerrar un ciclo que regularmente cuando son programas oficiales, inician con la inversión en investigación y desarrollo y finaliza con un prototipo aplicativo o patente, permitiendo evaluar los procesos administrativos a través de la relación directa positiva, que a mayor inversión en investigación y desarrollo, por ejemplo, en el caso de América Latina, se traduce en mayor número de: investigadores, solicitud de patentes y publicaciones científicas y técnicas (se recomienda ver Montes y Romero 2013)

Algunos principios a tener en cuenta con respecto a las *Fases de la Estructura Diacrónica de la Investigación* son:

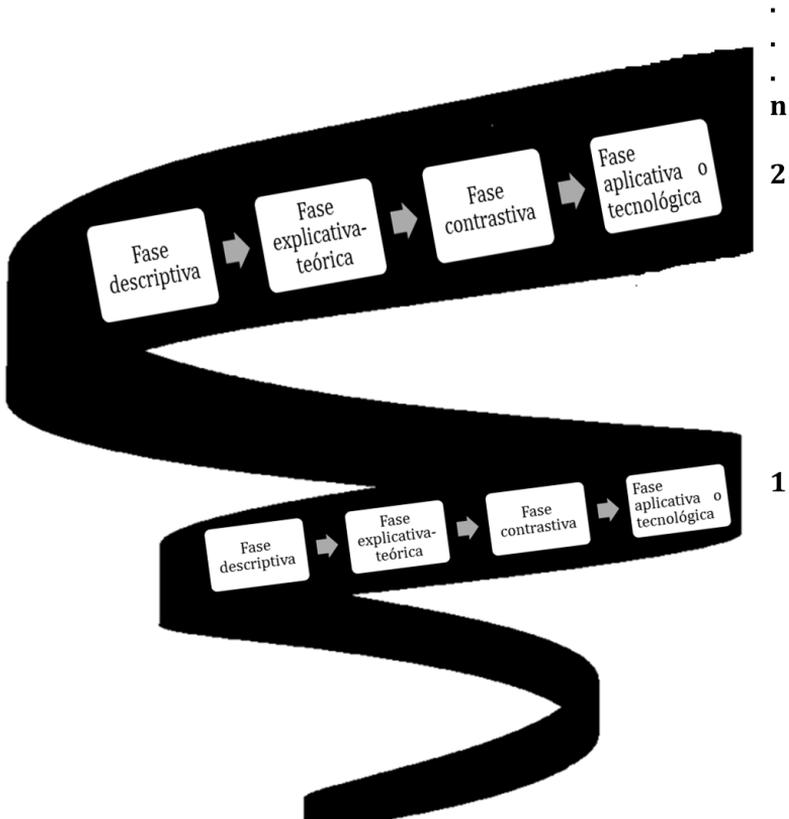
- No existen investigaciones aisladas ni problemas de investigación aislados.
- Toda investigación y todo problema de investigación forma parte de una amplia RED de investigaciones y problemas<sup>3</sup>, red que a su vez remite a grupos de personas, que en la actualidad pueden comunicarse a través de diferentes medios en tiempo real o diferido (por ejemplo, correo electrónico, chat, videoconferencias, foros de discusión). Un ejemplo que ilustra esto en el caso particular de la Geografía es la RedGESIG<sup>4</sup>.
- Las fases diacrónicas de los programas de investigación no son necesariamente lineales (puede haber regresiones y repeticiones). Más que una representación lineal-secuencial, estas FEDI tienen una representación lineal-espiral, es decir, el programa puede regresar de la última fase a la primera, pero a

---

<sup>3</sup> Las Redes de investigación definen relaciones temporales (de anterioridad y posterioridad) entre las investigaciones que a su vez las lleva a establecer plazos de gestión y a concebir secuencias y subsecuencias. Para Padrón (2001), las relaciones tanto de complementariedad (o de inclusión sucesiva) como de secuencia son las que permiten formular 'Programas' y 'Sub-Programas' de investigación, es decir, 'agendas' de trabajo tanto en un nivel vertical (complementariedad) como en un nivel horizontal (secuencia).

<sup>4</sup> Red del Grupo de Estudios sobre Geografía y Análisis Espacial con Sistemas de Información Geográfica con nodo principal en la Universidad Nacional de Luján - Argentina. En su Web oficial <http://www.gesig-proeg.com.ar/> se pueden encontrar las universidades que la conforman y sus principales líneas de trabajo.

nivel circular y progresivamente más amplios (Padrón 2013) existiendo así, una progresión-lineal y una progresión-espiral como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1.** Proceso lineal –espiral de las fases de la estructura diacrónica de la investigación. Elaboración del autor.

- La duración o el tiempo que toma recorrer estas cuatro fases es variable. Por ejemplo, un solo investigador en una misma investigación puede recorrer cada una de las cuatro fases (como ocurre en algunas tesis doctorales). Sin olvidar como ya se mencionó el carácter trans-generacional que pueden tener los programas de investigación, durando hasta siglos la vida de un programa. Existen diversos ejemplos de esto en la historia de la ciencia. La geografía, por ejemplo, desde la época clásica griega se mantuvo durante varios siglos en una fase descriptiva, hasta aproximadamente mediados del siglo XIX con la llegada de la geografía hecha por Humboldt y Ritter (Escamilla *et al.* 1993) que de alguna manera rompe con las descripciones que tradicionalmente se venían realizando, dando paso a una incipiente fase explicativa.

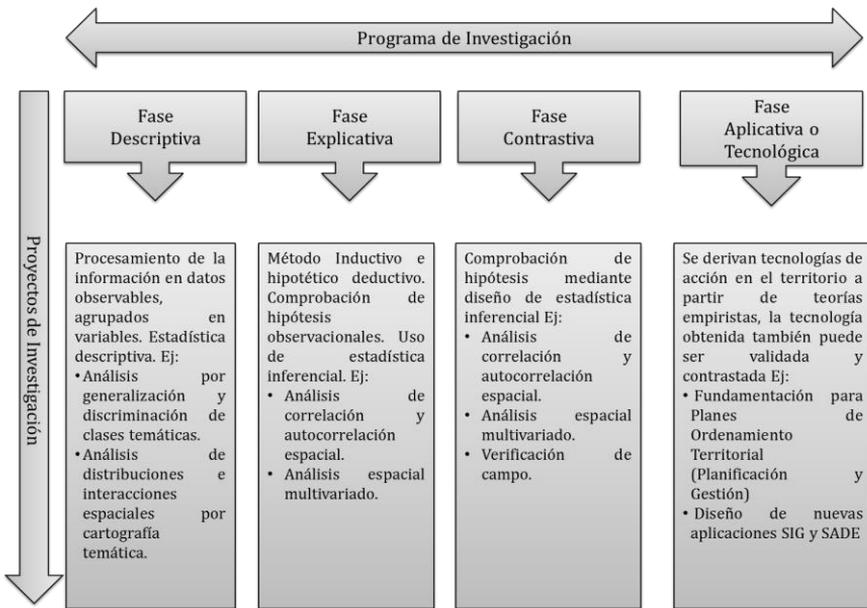
### **Estructura Diacrónica de los Procesos de Investigación aplicada a la Geografía Cuantitativa**

Del cruce del Enfoque Epistemológico de la Geografía Cuantitativa con las Fases Diacrónicas, se obtienen cuatro patrones básicos de posibles trabajos individuales de investigación. Es importante aclarar que esos patrones no son rígidos ni tampoco los límites entre ellos. En Geografía podemos encontrar ejemplos de trabajos donde cada fase corresponde a un tipo de investigación diferenciada por su estructura y ejecución, por ejemplo, la geografía regional de finales del siglo XIX tenía un marcado interés solo en la identificación y descripción de paisajes geográficos y regiones.

La aplicación de este esquema busca que el trabajo colectivo sea progresivo y articulado con el objeto de llegar a la producción de conocimiento geográfico y su aplicación. Pasando por las cuatro fases antes descritas de manera general, ahora se muestran para el caso de una investigación geográfica que puede tomar la forma de un Programa, Sub-programa o un macro-proyecto individual que recorra todas las fases (ver Figura 2).

En una primera fase descriptiva de una investigación geográfica, se consideraría hacer uso de la estadística descriptiva para

responder interrogantes tales como ¿Cómo es X? ¿Qué es X?. Para esto se recolectan datos a través de actividades directas de campo o con el uso de instrumentos que nos proporcionan las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), al igual que el uso de fuentes secundarias como los datos censales. Asimismo, en esta fase se realizan clasificaciones, valiéndose de técnicas como la estandarización de variables, generalización y discriminación de clases temáticas, distribuciones e interacciones espaciales por cartografía temática.



**Figura 2.** Patrones básicos de trabajos de investigación considerados para el enfoque de la Geografía Cuantitativa. Elaboración del autor.

En una segunda fase está la investigación geográfica que busca proveer de modelos teóricos explicativos que permitan elaborar predicciones dentro del área a la cual está referido el modelo<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Sobre la relación entre los modelos, teorías y leyes, Chorley y Haggett (1971) aclaran que los modelos y teorías están íntimamente relacionados, quizás su única diferencia estriba en el grado de probabilidad con que son capaces de

Partiendo de las descripciones sistemáticas elaboradas en la fase anterior sobre la realidad objeto de estudio (espacio geográfico) se elaboran explicaciones que revelen por qué la realidad funciona del modo en que aparece descrita. En el caso particular de la Geografía, muchos de estos modelos explicativos se enfocan en la localización, como principio geográfico por excelencia, que busca analizar las condiciones y cualidades de un hecho geográfico en cuanto al lugar que ocupa y a su situación (Méndez 2006) con el objeto de comprender la extensión, distribución, relaciones y funcionamiento. De esta manera, permite despejar las interrogantes del ¿Dónde? y del ¿Por qué allí? (Méndez *et al.* 1997) cumpliendo así con las dos primeras fases de la investigación ya descritas.

Seguidamente, el Programa de Investigación Geográfica avanza hacia una fase de contrastaciones, realizando comprobaciones de los modelos teóricos construidos en la fase anterior. Esto puede ser a través de estadística inferencial o en el caso de la geografía a través de la verificación empírica de campo. En esta etapa se trata de evaluar más que de crear.

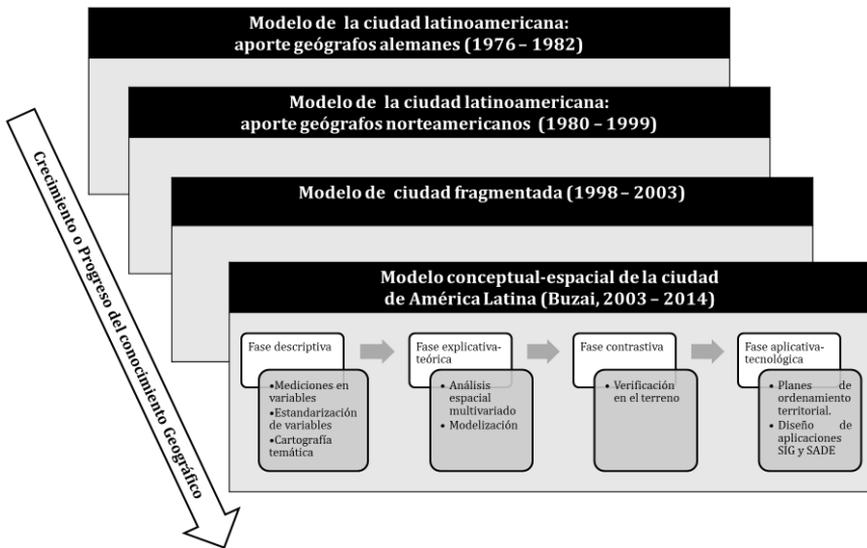
Por último, la fase aplicativa o tecnológica en la Geografía Cuantitativa se materializa tanto en los planes de Ordenamiento Territorial y su posterior ejecución, como también en la generación de tecnología como nuevos algoritmos para los software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las aplicaciones de Sistemas de Ayuda a la Decisión Espacial (SADE).

A manera de ilustrar las Fases Diacrónica de los Procesos de Investigación aplicada a la Geografía Cuantitativa, se tomó el ejemplo de un Programa de Investigación que podría denominarse "Estructura socioespacial de las ciudades de América Latina". Aún cuando existen más antecedentes para efectos del ejemplo, se decidió iniciar con los aportes de los geógrafos alemanes (1976 – 1982) sobre el Modelo de la ciudad latinoamericana. Este modelo presentado por Bähr y Mertins (1981) se basó en la descripción de usos del suelo. Dentro de ese proceso de progresión del Programa de Investigación que puede ser considerado una espiral llega el aporte

---

predecir la realidad. Las leyes son expresiones con un enorme grado de probabilidad y, como tales, todas las leyes son modelos, pero no todos los modelos son leyes.

de los geógrafos Norteamericanos Griffin y Ford (1980-96), que también basados en la descripción de los usos del suelo desarrollaron su modelo. En una tercera etapa subsiguiente se presenta el modelo de la ciudad Fragmentada, aporte realizado por Borsdorf y Janoschka (1998-03) generado al igual que los anteriores por la descripción de usos del suelo. Se puede evidenciar que no en todas las etapas progresivas del Programa de Investigación se recorrieron todas las “Fases Diacrónicas” sin embargo, esto no impide el crecimiento y progreso del conocimiento geográfico.



**Figura 3.** Progresión de un Programa de Investigación sobre la Estructura Socioespacial de las Ciudades de América Latina. Elaboración del autor en base a datos tomados de Buzai (2003, 2014).

Por último, en la etapa más reciente del Programa se presenta el Modelo conceptual-espacial de la ciudad de América Latina, que inicialmente fue propuesto por el Dr. Gustavo Buzai (2003) para el caso de la ciudad de Luján – Argentina y que luego se fue ampliando en un nivel vertical (complementariedad) a través de diversos

trabajos desarrollados en otras ciudades de la Argentina y de América Latina (Buzai 2014). Éste, que pudiera considerarse un Sub-Programa de Investigación con respecto al Programa principal, es denominado por su principal exponente “Mapas sociales urbanos”, una marcada diferencia con respecto a los Sub-Programas que lo precedieron. Es que aquí sí es posible evidenciar las cuatro fases diacrónicas ya planteadas (ver Figura 3).

## BIBLIOGRAFÍA

- Buzai, G.D. 2003. Mapas Sociales Urbanos. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. 2014. Mapas Sociales Urbanos. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Chalmers, A. 2013. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*. Siglo XXI. Buenos Aires.
- Chorley, R. y P. Haggett, 1971. *La Geografía y los Modelos Socio-económicos*. Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local.
- Cortés, J. y A. Martínez. 1996. *Diccionario de filosofía en CD-ROM*. Herder. Barcelona.
- Escamilla, F., P. García y O. Venturini. 1993. *Geografía General*. Caracas, Universidad Pedagógica Experimental Libertador / Universidad Nacional Abierta.
- Lakatos, I. 1978. *The Methodology of Scientific Research Programmes: Philosophical Papers*. Volume 1. Cambridge University Press. Cambridge.
- Méndez, E., M. Delgado y J. Valbuena. 1997. *La localización de actividades económicas*. Universidad de los Andes. Mérida.
- Méndez, E. 2006. *Geografía actual, espacio geográfico, territorialidad y campos de acción*. Universidad de los Andes. Mérida.
- Montes, E. y A. Romero. 2013. Gasto en investigación y productividad científico-tecnológica en América Latina: aplicación del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales. *Revista de la Universidad del Zulia* 3ª Época. 4(10): 11-30. Disponible en:  
<http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/rluz/article/view/19815>

- Montes, E. y A. Romero. 2015. Aproximación a los fundamentos epistemológicos Y metodológicos para una Geografía de la Educación. *Terra*. En prensa.
- Padrón, J. 1992. Un Modelo de Variabilidad de la Investigación Científica. Universidad Simón Rodríguez. Caracas.
- Padrón, J. 1998. *La Estructura de los Procesos de Investigación*. Decanato de Postgrado, Universidad Simón Rodríguez. Disponible en:  
[http://padron.entretemas.com/Estr\\_Proc\\_Inv.htm](http://padron.entretemas.com/Estr_Proc_Inv.htm)
- Padrón, J. 2001. *El problema de organizar la Investigación Universitaria*. Disponible en:  
[http://padron.entretemas.com/Organizar\\_IU.htm](http://padron.entretemas.com/Organizar_IU.htm)
- Padrón, J. 2007. Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. *Cinta de Moebio, Revista de Epistemología de Ciencias Sociales*. 28: 1-28. Disponible en:  
<http://www2.facso.uchile.cl/publicaciones/moebio/28/padron.html>
- Padrón, J. 2013. *Epistemología evolucionista: una visión integral*. Entre Temas. Caracas. Disponible en:  
[http://padron.entretemas.com/Ep\\_Ev.pdf](http://padron.entretemas.com/Ep_Ev.pdf)
- Sánchez, D. 2010. El positivismo, el empirismo lógico y las ramas de la matemática que incidieron en la geografía. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GESIG-UNLU, Luján)*. 2(2): 20-53. Disponible en: [www.gesig-proeg.com.ar](http://www.gesig-proeg.com.ar)



PARTE 2

APLICACIONES DE ANÁLISIS  
ESPACIAL



# Análisis locacional



# LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN CONTEXTO URBANO

*Graciela Cacace*

## **INTRODUCCIÓN**

EL PRESENTE capítulo aborda, mediante metodologías de análisis espacial, la localización óptima de establecimientos educativos en la ciudad de Luján con datos del año 2008. En la República Argentina, la Educación Primaria Básica (EPB) es obligatoria y el acceso a las escuelas no debería presentar obstáculos.

Las temáticas sociales desde el punto de vista espacial y la distribución espacial de los servicios de localización puntual como es el caso de los centros educativos en un ámbito urbano, generan la necesidad de planificación, al presentarse ineficiente la correspondencia espacial entre la demanda y de la oferta en el área en estudio. Surge así el concepto de justicia espacial, una accesibilidad eficiente y equitativa de las diferentes categorías poblacionales hacia los centros de servicios deseables. Realizar una mejor distribución espacial de ciertos servicios tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de la población.

Para llegar a definir espacialmente sitios candidatos, se aplica una metodología de análisis espacial. Las técnicas de Evaluación Multicriterio (EMC) (Multicriterio Evaluation – MCE) en el ámbito de los Sistema de Información Geográfica (SIG) permiten obtener mapas con sitios candidatos para la localización de nuevos establecimientos educativos. En la actualidad, la aplicación de estas técnicas es el camino de mayor aptitud para mejorar el proceso de toma de decisiones y guiar las políticas de planificación socio-espacial tendientes a disminuir las disparidades existentes. El trabajo se fundamenta en dos aspectos confluyentes: la valoración mundial de

las temáticas correspondientes a la distribución socio-espacial con fines de planificación y el desarrollo de diversas herramientas que facilitan el manejo de información como los SIG, tecnología que transita un proceso de verticalización en determinadas aplicaciones (Eastman 2007) como las técnicas de EMC, actualmente estandarizadas y en un entorno digital.

## **ÁREA DE ESTUDIO**

Corresponde a la ciudad de Luján (67.266 habitantes) (Datos del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 de la República Argentina) aglomeración de tamaño intermedio de la República Argentina (Vapñarsky 1990). Considerando una diferenciación de escalas geográficas, la ciudad de Luján forma parte del Partido de Luján (777,13 km<sup>2</sup>), una de las unidades espaciales en las que se divide política y administrativamente la provincia de Buenos Aires. En el 2001, la ciudad de Luján estaba compuesta por 72 radios censales definidos por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) como una de las divisiones espaciales de 5° orden para la agregación de datos censales proporcionados por el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas. Las fracciones censales que componen la ciudad de Luján, es decir las que contienen radios censales urbanos, son la 01, 03, 05, 06, 07 y 08.

## **APLICACIONES**

Las aplicación fueron realizadas mediante el uso de una base de datos geográfica de estructura raster. El SIG utilizado en el análisis socio espacial ha sido IDRISI, sistema específicamente desarrollado bajo el paradigma del modelado cartográfico y dispone de módulos diseñados para la EMC.

Con la finalidad de realizar procedimientos de análisis espacial y la toma de decisiones en la búsqueda de sitios de aptitud locacional para nuevos establecimientos educativos en la ciudad de Luján, se siguieron los siguientes pasos:

## TRANSFORMACIÓN DE LOS CRITERIOS EN FACTORES

Una importante etapa de la investigación basada en las técnicas de EMC es la aplicación de procedimientos de transformación de los criterios en factores y restricciones. Los criterios son el paso inicial del proceso de EMC y el punto de referencia para tomar una decisión. La gran cantidad de detalle contenido en una capa temática raster obliga a aplicar procedimientos de generalización y de simplificación con el fin de obtener nuevas capas temáticas con menor número de categorías de acuerdo con los objetivos que se persiguen. En este caso, para transformar un criterio en factor, se aplica un procedimiento de reclasificación que permite obtener una nueva capa temática, más simplificada, una capa binaria (con valores temáticos 0-1), con mejores posibilidades de interpretación visual. De la selección de criterios que se realice dependerá siempre el resultado final.

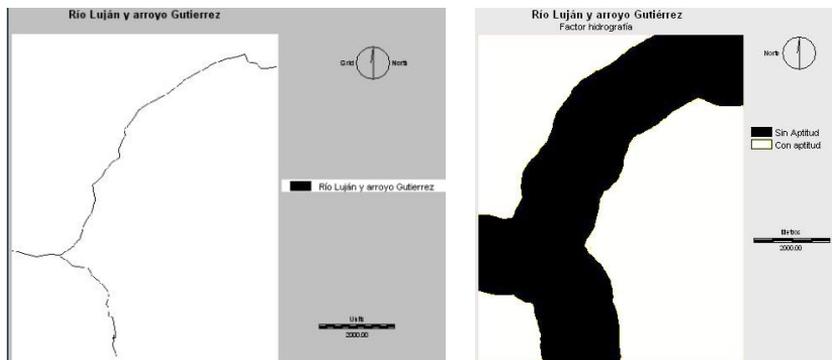
En líneas generales se han considerado como criterios determinados grupos poblacionales como umbrales de demanda potencial, servicios educativos (públicos y privados) como distribución de puntos de oferta, redes de caminos y de transporte como elementos de vínculo espacial entre oferta y demanda, y finalmente, restricciones de diversa índole (físicas y legales).

<u>Criterios seleccionados:</u> -Radios censales urbanos (localización) -Calles (localización) -Hidrografía (localización) -Rutas (localización)	-Recorrido de colectivos (localización) -Escuelas EPB estatales (localización) -Escuelas EPB privadas (localización) -Población por grupos de edades (atributo) -Población con Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) (atributo) -Población por tipo de vivienda (atributo)
--	---

Definición de las condiciones de mayor aptitud, que llevan a la formulación de *factores*:

Hidrografía: Corresponde al río Luján y al arroyo Gutiérrez (entidades lineales). Las localizaciones posibles son las que se encuentran a más de 1.000 metros del río. Factor: Para la

reclasificación, se considera un buffer de 1.000 metros de distancia al río asignándole valor 1 al área con aptitud y 0 al área más cercana.



**Figura 1. Izquierda:** Río Luján y arroyo Gutiérrez. Resultado de la digitalización. **Derecha:** Factor hidrográfico (derecha).

Rutas: Corresponde a las rutas Nacionales 5 y 7, las Provinciales 34, 47 y 192 que atraviesan la ciudad de Luján (entidades lineales). Localizaciones que se encuentran a distancias inferiores a 500 metros de las rutas. Factor: Para la reclasificación, se considera un buffer de 500 metros de distancia a la ruta asignándole valor 1 al área con aptitud y 0 al área más alejadas.

Recorrido de las líneas locales del transporte público de pasajeros. En la ciudad de Luján son empresas explotadas por los mismos trabajadores. Estas PYMES tienen servicios con una frecuencia cada hora con refuerzos en horarios escolares. Las localizaciones que se encuentran a distancias inferiores a 500 metros de los recorridos son las más aptas. Factor: Para la reclasificación, se considera un buffer de 500 metros de distancia a los recorridos asignándole valor 1 al área con aptitud y 0 al área más alejadas.

Escuelas de Educación Primaria básica (EPB) estatales: Corresponde a las 16 Escuelas Primarias estatales (oferta educativa en el 2008 con su distribución espacial). Las localizaciones aptas son aquellas que se encuentran a más de 500 metros de las escuelas ya existentes. Factor: Para la reclasificación, se considera un buffer de 500 metros

de distancia a los recorridos asignándole valor 1 al área con aptitud y 0 al área más alejadas.

Factor Escuelas de Educación Primaria Básica (EPB) privadas. Igual localización y factor que en las escuelas estatales.

Población- Demanda potencial: En base a la información proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) a través del Censo Nacional de Población y Vivienda del año 2001 sistematizado digitalmente en la base de datos REDATAM (INDEC 2006) se calculó la población por grupo de edad para cada radio censal. Con la información alfanumérica de la población en valores absolutos y en porcentajes medidos en cada fracción, se elaboraron tablas en IDRISI. Factor: el procedimiento de reclasificación por agrupamiento de categorías permitió generar el mapa del factor. Para la presente aplicación se considera como Potenciales demandantes a la población entre 05 años y 14 años. Con la finalidad de determinar las áreas con mayor cantidad de niños en edad escolar se aplicaron *medidas de posición o tendencia central* considerando los porcentajes mínimo y máximo de la tabla: 5 % y 30 %

*Mediana:* 16.34 Para la localización de nuevas escuelas se considera como áreas aptas a las que poseen mayor número de niños en edad escolar es decir las que obtienen un porcentaje entre 16 % y 30 %

1 = ÁREAS CON APTITUD > Porcentaje de niños en edad escolar = 16 % al 30 %

0 = ÁREAS SIN APTITUD < Porcentaje de niños en edad escolar = 5 % al 16 %

## **PROCEDIMIENTO I**

### **Definición de sitios candidatos por Cálculo de Nivel de Riesgo Mínimo y Creciente (Tendiente a máximo) por Procedimientos de Modelado Cartográfico**

El Modelado Cartográfico es un procedimiento metodológico que permite resolver problemas espaciales a partir del análisis y síntesis de datos geográficos, en una secuencia lógica y mediante el uso de las

operaciones básicas de un SIG (Tomlin 1990). Estas operaciones representan la función específica ejecutada por el SIG sobre una determinada capa de entrada. El principal procedimiento metodológico del Modelado Cartográfico es la superposición temática (overlay mapping), una aplicación básica de la tecnología SIG (Tomlin 1990). El Modelado Cartográfico resulta ser un procedimiento que presenta aptitud en la búsqueda inicial de sitios candidatos para la localización de servicios. Los procedimientos de reclasificación (reclass) y superposición temática en sistema raster se concretan mediante el uso de operaciones aritméticas. Según P. Haggett (1977), se puede considerar al mapa como un diagrama de Venn y utilizar la lógica de la teoría de conjuntos para la construcción de regiones:

La *Unión* permite agrupar elementos de los conjuntos.

La *Intersección* permite determinar los elementos en común que comparten los conjuntos.

Esta línea de análisis permitiría determinar el grado de correspondencia espacial.



**Figura 2.** Eje del nivel de riesgo

La decisión locacional en Geografía a través de los SIG se mueve en un eje de *Nivel de Riesgo entre And y Or* donde *And / Y* indica el *Riesgo Mínimo* y *Or / O* el *Riesgo Máximo* al momento de seleccionar un sitio de localización. Entre ambos se encuentra una amplia faja que representa el *Riesgo Medio*. El *Riesgo Mínimo* se logra a través de la Intersección geométrica o multiplicación de matrices cuando cada factor fue definido como criterio booleano con categorías: 0 (sin aptitud) y 1 (con aptitud) obteniendo, como resultado, las mejores características de cada factor. El *creciente nivel de riesgo* se logra a través de la Unión geométrica o suma de matrices. Dentro de la

variedad de soluciones posibles desde And a Or, dirigiéndonos hacia Or se amplía el tamaño del área resultante con mayores posibilidades locacionales pero también con un aumento de la incertidumbre en la decisión locacional final.

La toma de decisiones locacionales y espaciales se basa, entonces, en la flexibilidad para moverse y cambiar de posición en el eje de Nivel de Riesgo. Para ello, se aplica el Método Booleano por Multiplicación en AND y el Método Booleano por Suma entre AND y OR.

### **Método Booleano en And: Nivel de Riesgo Mínimo**

Una posible solución para obtener sitios candidatos con aptitud para la localización de nuevos establecimientos educativos es a partir del Método Booleano en AND. Para ello, se utilizan todos los factores y la intersección booleana por multiplicación con posterioridad a haber definido los factores con clases 0 - 1. Luego, se reclasifica el mapa de resultado y se superpone al mapa de la ciudad de Luján con los 72 radios censales a fin de asignar espacialmente los resultados al área de estudio.

La estandarización con lógica booleana y la multiplicación de matrices (AND) muestra un resultado único y preciso de los sitios con mayor aptitud pues allí coinciden las mejores aptitudes de cada factor. Como resultado se obtiene un mapa de Riesgo Mínimo.

Otra posible solución a la obtención de sitios urbanos con aptitud para la localización de nuevos establecimientos educativos en la ciudad de Luján es aplicar el método booleano entre AND-OR. La intersección booleana a partir de la suma de matrices mediante la calculadora geográfica, permite obtener una aptitud escalonada y progresiva en riesgo de tomar una decisión locacional. Amplía la superficie de elección locacional al mismo tiempo que amplía la posibilidad de tomar una decisión incorrecta, es decir, mayor es la incertidumbre y el riesgo locacional que se corre en la decisión final.

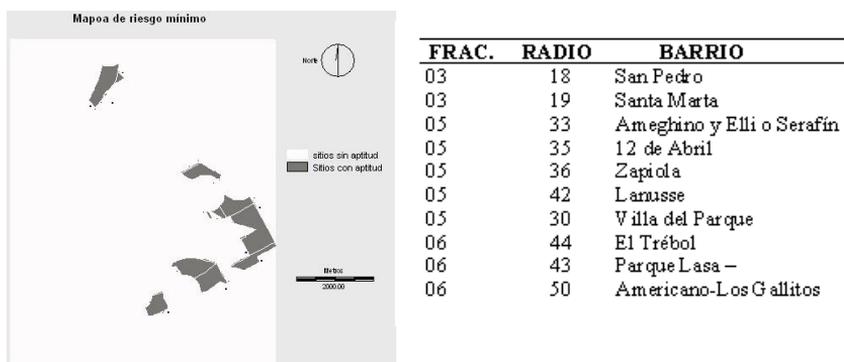


Figura 3. Sitios candidatos de riesgo mínimo (Multiplicación de Factores).

### Definición de sitios candidatos por Cálculo de Nivel de Riesgo Creciente Aptitud Escalonada) por Procedimiento del Modelado Cartográfico

#### Aptitud Escalonada y Progresiva de Riesgo

A partir del mapa con la suma de factores y su reclasificación se obtienen 9 posibilidades de riesgo que van desde riesgo mínimo hacia el máximo con un aumento constante del área geográfica afectada. Cuando mayores son las posibilidades geográficas de elección, mayores son los riesgos de realizar una elección incorrecta. Con nivel de riesgo 7, prácticamente toda el área de la ciudad de Luján pasa a ser apta para la localización de establecimientos educativos. Dentro de la variedad de soluciones posibles entre AND y OR, el nivel de riesgo 7 está ubicado cerca de OR presentando la máxima amplitud y la mayor incertidumbre en la decisión locacional final.

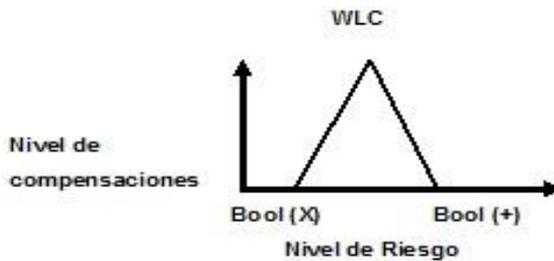
#### PROCEDIMIENTO II

#### Método de Combinación Lineal Ponderada (Weighted Linear Combination – WLC)

El Método WLC es otro de los procedimientos metodológicos de

las técnicas de EMC para la obtención de sitios urbanos con aptitud para la localización de nuevos servicios. La decisión locacional en Geografía a través de los SIG se mueve en una zona que puede ser graficada como un triángulo de decisiones estratégicas.

Distintas técnicas permiten moverse en el interior del triángulo buscando una decisión locacional y espacial entre el nivel de riesgo y de compensación. El triángulo se encuentra dentro de un espacio de propiedades formado por dos ejes ortogonales X e Y: En el eje de la X, como se vio en el Procedimiento I, se localiza el Nivel de Riesgo en la decisión locacional. En el eje de la Y, se halla el nivel de compensación considerando los valores de ponderación o de importancia de los factores. La Combinación Lineal Ponderada lleva la solución al extremo superior del triángulo con nivel de riesgo medio y la máxima compensación entre factores.



**Figura 4.** Tomado de Buzai y Baxendale (2006:128).

Como paso previo a la aplicación del método, es necesario generar una estandarización continua y difusa de cada uno de los factores. La estandarización continua FUZZY (de límites difusos) es considerada el paso inicial para la aplicación de la EMC.

Los procedimientos técnicos del Método de Combinación Lineal Ponderada son:

- 1- Calcular el promedio de todos los FUZZY para obtener un mapa de riesgo medio con la máxima compensación entre los factores.

- 2- Aplicar la ponderación de factores por ranking recíproco con el fin de lograr resultados óptimos.

### **Estandarización continua y difusa (Fuzzy) de cada factor**

La estandarización continua de factores con *fuzzy* con iguales intervalos de aptitud permite obtener mapas comparables. Para la estandarización es necesario partir de los mapas de distancias hacia entidades lineales como hidrografía, rutas, hacia entidades puntuales como las escuelas; y mapas de atributos de criterios como la distribución espacial de la población como demanda potencial. Cuando se formula un factor de acuerdo a la lógica booleana, se considera una distancia fija que determina un buffer con un área de aptitud y otra área sin aptitud.

Con la aplicación *fuzzy* se consideran valores de re-escalamiento con variaciones de aptitud y límites difusos a partir de diferentes grados de pertenencia dentro del sistema clasificatorio. Para definir la estandarización *fuzzy* es necesario contar con un buen conocimiento acerca del comportamiento de cada variable en cuanto a su alcance espacial; este conocimiento permite elegir entre las funciones la que mejor la representa. Las funciones de crecimiento con la distancia más comunes son las lineales, exponenciales y sigmoideas.

### **Aplicación del Método de Combinación Lineal Ponderada**

#### **Solución 1: Mapa de Riesgo Medio**

Una vez aplicada la estandarización continua *fuzzy*, se proporciona a cada uno de los factores un valor de ponderación de acuerdo a la importancia relativa que cada uno de ellos tiene en el conjunto total. Si a cada factor se le otorga un peso o importancia similar, se obtiene un *Mapa de Riesgo Medio* que, en términos de riesgo en la decisión, presenta un resultado que se encuentra en el punto medio del continuo AND-OR pero ofrece mayor flexibilidad que en el caso booleano.

FACTOR	Ranking r	1/R	1/R/Sum 1/r
Fuzzy Población de 05-14	1	1.00	0.11
Fuzzy Población con NBI	1	1.00	0.11
Fuzzy Recorridos transporte público de pasajeros	1	1.00	0.11
Fuzzy Rutas	1	1.00	0.11
Fuzzy Escuelas EPB estatales	1	1.00	0.11
Fuzzy Escuelas EPB privadas	1	1.00	0.11
Fuzzy Hidrografía	1	1.00	0.11
Fuzzy Viviendas tipo A	1	1.00	0.11
Fuzzy viviendas tipo Ranchos	1	1.00	0.11
		9.00	1.00
		Promedio	0.11

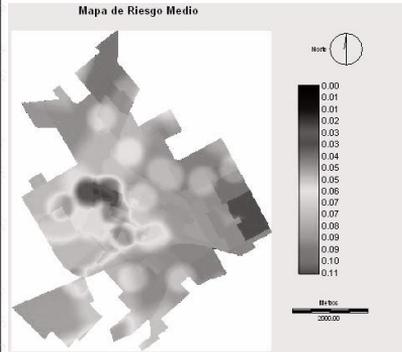


Figura 5. Mapa de Riesgo Medio

Cuadro 1. Promedio de todos los factores

El procedimiento técnico consiste en calcular el promedio de todos los factores *fuzzy*. Este procedimiento se puede realizar directamente con la calculadora geográfica de IDRISI.

El Mapa de Riesgo Medio presenta un resultado que se encuentra en el punto medio en términos de riesgo en la decisión pero ofreciendo mayor flexibilidad que en el caso booleano por la incorporación de niveles de compensación entre los factores. De acuerdo a la Figura 5 puede considerarse la existencia de una amplia zona favorable que incluye toda la periferia de la ciudad de Luján exceptuando los barrios del Centro, del Oeste y parte de un barrio del Sur. La periferia de la ciudad de Luján se presenta como la zona con mayor peso relativo para la decisión locacional pues allí habita la mayor cantidad de niños en edad escolar (Población de 05-14 años) y la mayor cantidad de personas en situación de pobreza (Población con NBI). En el mapa aparecen con valores cercanos al 0.11 Los radios censales 0542 - 0318 - 0643 - 0535 - 0533 que corresponden a los barrios Villa del Parque, San Pedro, Parque Lasa, Ameghino, Zapiola y Serafín o Elli, aparecen con los valores más altos. Estas áreas tienen problemas habitacionales (predominio de

viviendas tipo B y casillas), la mayoría de sus calles están sin pavimentar, no cuentan con agua de red, ni cloacas (los desagües son a pozos ciegos y cámaras sépticas). La recolección de residuos es poco frecuente y las líneas locales de transporte público de pasajeros tienen un servicio deficiente por estos barrios.

## **Solución 2: Mapa de Aptitud**

Otra posible solución espacial para la ampliación del servicio educativo aplicando el Método de Combinación Lineal Ponderada es la ponderación de factores por ranking recíproco. La determinación de jerarquías y de pesos entre los factores es parte de la regla de decisión. Esta técnica permite determinar la importancia relativa de cada uno de los factores con el fin de obtener resultados óptimos visualizados, en este caso, en los Mapas de Aptitud. Este procedimiento, en términos de riesgo en la decisión, presenta un resultado que se encuentra en el punto medio del continuo AND-OR y agrega una nueva dimensión al análisis, el nivel de compensación total entre los factores disminuyendo el nivel de contradicciones al incorporar importancias relativas y diferentes grados de aptitud.

En este trabajo, al aplicar la ponderación se le otorga mayor peso a los factores:

- |  |  |
|--|--|
| 1-Población de 05 a 14 años como demanda potencial | 3-Recorridos de las líneas locales del transporte público de pasajeros |
| 2-Población con NBI                                | 4-Rutas  |

Se considera que la población más carenciada es la que tiene mayor cantidad de niños en edad escolar y es también la que tiene mayores dificultades para llegar hasta las escuelas. Por esa razón, en tercer lugar se considera como factor de accesibilidad los Recorridos de las líneas locales del transporte público de pasajeros como los medios de transporte más económicos para llegar hasta las escuelas. En cuarto lugar se considera las rutas que son también un importante factor de accesibilidad. La ponderación de factores por ranking recíproco permite otorgarle a cada factor un peso de

proporción tal que sumados todos los pesos dé como resultado el valor 1 que representa una importancia total en un 100%.

La suma de las ponderaciones es igual a 1 y las proporciones de ponderación corresponden a la importancia relativa que se le asigna a cada factor en el marco de su resolución. Por ejemplo, en Aptitud 1, el Factor 1 (Población de 05-14) tiene un peso casi dos veces superior al Factor 2 (Población con NBI) y casi tres veces el Factor 3 (Recorridos de las líneas locales del transporte público de pasajeros). Cada píxel que representa el espacio geográfico, asume un valor de aptitud.

**Cuadro 2.** Aptitud por ranking recíproco.

**APTITUD 1**

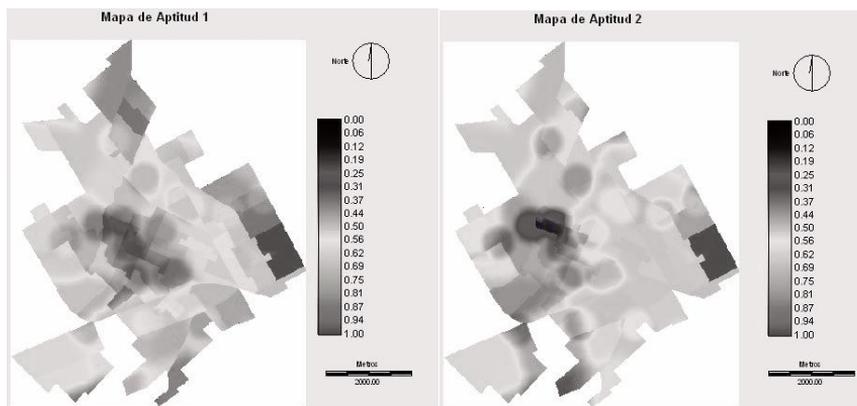
**APTITUD 2**

FACTOR	Ranking r	1/R	1/R/Sum 1/r	FACTOR	Ranking r	1/R	1/R/Sum 1/r
Fuzzy Población de 05-14	1	1.00	0.35	Fuzzy Población de 05-14	9	0.11	0.04
Fuzzy Población con NBI	2	0.50	0.18	Fuzzy Población con NBI	8	0.13	0.04
Fuzzy Recorridos transporte público de pasajeros	3	0.33	0.12	Fuzzy Recorridos transporte público de pasajeros	7	0.14	0.05
Fuzzy Rutas	4	0.25	0.09	Fuzzy Rutas	6	0.17	0.06
Fuzzy Escuelas EPB estatales	5	0.20	0.07	Fuzzy Escuelas EPB estatales	5	0.20	0.07
Fuzzy Escuelas EPB privadas	6	0.17	0.06	Fuzzy Escuelas EPB privadas	4	0.25	0.09
Fuzzy Hidrografía	7	0.14	0.05	Fuzzy Hidrografía	3	0.33	0.12
Fuzzy Viviendas tipo A	8	0.13	0.04	Fuzzy Viviendas tipo A	2	0.50	0.18
Fuzzy viviendas tipo Ranchos	9	0.11	0.04	Fuzzy viviendas tipo Ranchos	1	1.00	0.35
		2.83	1.00			2.83	1.00

### Proceso de Ranking Recíproco:

Las configuraciones espaciales son visualizadas en los Mapas de Aptitud que muestran una amplia área periférica de la ciudad de Luján como apta para la localización de nuevos establecimientos educativos EPB, excluyendo toda el área central urbana. Los mapas muestran como aptas tres áreas bien delimitadas:

- un sector Norte que corresponde a los barrios San Pedro y San Jorge (con los valores más altos) y los barrios Santa Marta y San Fermín;
- un sector muy amplio al Este- Sudeste donde se destacan los barrios Villa del Parque y Zapiola (con los mayores valores de aptitud), seguidos de los barrios Ameghino y Serafín;
- un sector Sur que incluye a los barrios Parque Lasa, El Trébol y los Gallitos.



**Figura 6. Izquierda:** Mapa de aptitud 1. **Derecha:** Mapa de aptitud 2.

### **RESTRICCIONES**

Con el fin de minimizar el riesgo de elegir un sitio inadecuado es conveniente trabajar con Mapas de Restricciones al aplicar técnicas de EMC con tecnología SIG. En el presente trabajo se considera como Mapa de Restricciones al Mapa de Usos del Suelo. Para realizar el

Mapa de usos del Suelos, se tomó como referencia el Plan Regulador para el Partido de Luján aprobado por Ordenanza N° 1045 y N° 1046 del año 1974 y sus modificaciones, las Ordenanzas N° 1444 y N° 1454 del año 1980 que definen las diferentes áreas de la ciudad de Luján. El nuevo Código de Ordenamiento Urbano, no había entrado en vigencia en 2008 cuando se hizo el trabajo. Por lo tanto, el Código de Ordenamiento Urbano de la ciudad de Luján de 1980 aún se tomaba como instrumento legal de tipo urbanístico y administrativo (Información proporcionada por la Municipalidad de Luján).

El partido de Luján se divide en 3 áreas: URBANA - RURAL - COMPLEMENTARIA

No todos los usos del suelo son áreas aptas para la instalación de nuevos establecimientos escolares. En las zonas de Reservas (UR) y en los distritos de

esparcimiento y recreación (UE) no se pueden establecer escuelas. Por lo tanto, a partir de los usos del suelo, se puede realizar una reclasificación.

#### Reclasificación booleana:

1 = ÁREAS CON APTITUD: UC1 - UR1 - UR2a - UR3a - UR2b- URM - UR4 - UR5 - ACAI - UR3b

0 = ÁREAS SIN APTITUD: UR - UE

El Mapa de Usos del Suelo reclasificado es utilizado como Mapa de Restricciones.

Para obtener un mapa con sitios candidatos es necesario utilizar la calculadora geográfica de IDRISI. Se suman los fuzzy de cada factor con su nivel de compensación o directamente se multiplica el Mapa de Aptitud 1 por el mapa de restricciones reclasificado. Luego se realiza la misma operación con el Mapa de Aptitud 2, el Mapa de Riesgo Medio y el Mapa de Riesgo Mínimo. De esta manera se obtienen con más precisión sitios aptos para la ampliación de servicios educativos EPB en la ciudad de Luján. Al no considerar como aptas para localizar escuelas las zonas de Reservas (UR) y los distritos de esparcimiento y recreación (UE) se obtuvieron mapas con algunos cambios en cuanto a los resultados ya analizados.

En el *Mapa de Riesgo Mínimo por el Mapa Usos del Suelo Reclasificado* se obtuvo un resultado que no difiere del Mapa de Riesgo Mínimo. Se visualizan las cinco áreas candidatas, de escasa superficie y bien definidas para la ampliación del servicio educativo primario. El barrio Villa del Parque, al igual que Zapiola se halla en área residencial mixta (URM), el barrio San Pedro, al Norte es área residencial (UR4), los barrios Parque Lasa, Trébol y Los Gallitos se hallan en área industrial (UI). Todas son zonas satisfactorias para la ampliación de los servicios educativos. En el Mapa de Riesgo Medio aparecen con valores altos los radios censales que se corresponden con los barrios Villa del Parque, San Pedro, Parque Lasa, Ameghino, Zapiola y Serafín.

Al considerar las restricciones, surgen algunos cambios: los barrios Santa Marta, San Jorge y San Fermín se hallan en áreas de esparcimiento (UE) donde no se pueden localizar escuelas. Lo mismo sucede con una parte del barrio Ameghino cuyo uso del suelo es UE. Los Mapas de Aptitud por Mapa Usos del Suelo Reclasificado muestran como favorables para la instalación de escuelas EPB, las tres áreas ya mencionadas

## **CONSIDERACIONES FINALES**

El objetivo propuesto fue alcanzado a partir de la aplicación de una metodología de análisis espacial, sobre una estructura de bases de datos raster en un Sistema de Información Geográfica y teniendo como ciencia base a la Geografía. Cuando se trabaja con SIG en la asignación de usos del suelo en un territorio, es fundamental tomar como base a la Geografía como ciencia que estudia la diferenciación de espacios sobre la superficie terrestre, pero también en cuanto a sus posibilidades de proyección futura, como ciencia que puede modelar las pautas de distribución espacial. Para resolver las cuestiones espaciales se hizo necesario, mediante lo que se denomina un proceso de “verticalización”, integrar al SIG otras técnicas y propuestas metodológicas como los procedimientos de EMC, fundamentales a la hora de tomar decisiones espaciales. De esta forma quedó demostrado que la relación entre Sistemas de Información Geográfica y procedimientos de EMC resulta ser una

poderosa herramienta para la ordenación territorial y para la localización óptima de actividades humanas. El propósito del trabajo fue presentar propuestas locacionales educativas (servicios deseables) como una manera de minimizar las injusticias y mejorar la calidad de vida de la población. En todos los casos se obtuvieron resultados similares que muestran como favorables para la instalación de escuelas EPB, tres áreas bien definidas:

La prioridad 1 de localización: al Este / Sudeste. Allí aparece con valores muy altos en todos los mapas el radio censal 0542 que se corresponde con el barrio Villa del Parque. También son aptos los barrios cercanos como Zapiola, Ameghino y Serafín o Elli. Esta zona se presenta como la más favorecida para la localización de establecimientos educativos EPB. Como ya se vio, son muchas las carencias de infraestructura y de accesibilidad para la demanda potencial con la que cuenta. Además se halla alejado de las escuelas existentes.

La prioridad 2 de localización: al Norte. Allí aparece, con valores altos en todos los mapas, el radio censal 0320 que se corresponde con el barrio San Pedro. Esta zona de la ciudad de Luján es la que presenta las mayores carencias (radios censales con los valores más altos de NBI y de viviendas tipo rancho). También allí habita el mayor porcentaje de población de 05- 14 años. A pesar de todo, el barrio San Pedro aparece como 2º prioridad pues tiene una escuela en las cercanías.

La prioridad 3 de localización: al Sur. Se destacan por sus valores los radios censales 0643 – 0644 - 0650 que se corresponden con los barrios Parque Lasa, Trébol y Los Gallitos. En esta escala de prioridades, el sector Sur es el menos apto de los tres pero con la necesidad de contar con escuelas en sus barrios. El porcentaje de población de 05-14 años, en general, es de alrededor del 20 %. Las condiciones socio-económicas y habitacionales son adecuadas en barrios como el Trébol y poco adecuadas en barrios como Parque Lasa. Esta zona no cuenta con agua de red, ni con cloacas y otros servicios públicos. El servicio de transporte público de pasajeros es deficiente y la única escuela cercana es la N° 10 "Reverendo Padre Jorge Maria Salvaire" en el barrio Los Gallitos.

En la resolución de la problemática, aparece con claridad que la periferia de la ciudad de Luján es la zona que presenta el mayor peso relativo para la decisión locacional. Son áreas prioritarias para la intervención y la gestión.

Como se puede apreciar a través de esta línea de investigación, el logro de la localización óptima para las actividades humanas sobre el territorio es una tarea de gran importancia que tiene como finalidad mejorar la calidad de vida de la población. La planificación territorial de servicios colectivos está destinada a satisfacer necesidades de la población y se transforma en un importante instrumento de desarrollo. Las actividades económicas y el bienestar social mejoran cuando existe un sistema de servicios adecuadamente ubicados. En la ciudad de Luján es necesario ampliar la oferta existente de escuelas EPB y mejorar la distribución espacial de las mismas garantizando un acceso igualitario por parte de la población a los servicios que brinda el Estado y haciendo más efectiva una educación de calidad para todos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bosque Sendra, J., M. Gómez Delgado, A. Moreno Jiménez y F. Dal Pozzo. 2000. Hacia un sistema de ayuda a la decisión espacial para la localización de equipamientos. *Estudios Geográficos*.
- Buzai, G.D. 2003. *Mapas sociales urbanos*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. 2008. *Sistema de Información geográfica (SIG) y cartografía temática*. Lugar editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2002. La construcción de regiones mediante técnicas geográficas cuantitativas. *Revista Gerencia Ambiental* 9(85): 276-280 y 282
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2006. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Díaz Muñoz, M. 1990. *Diferenciación socioespacial en la ciudad de Alcalá de Henares*. Colección Aula Abierta N° 6. Universidad de Alcalá de Henares. Alcalá.

- Eastman, J.R. 2007. La Verticalización de los Sistemas de Información Geográfica. En: *Memorias XI Conferencia Iberoamericana de Sistema de Información Geográfica (SIBSIG)*, pp. 183-195. UNLu. Luján.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). *Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2001*. Base de datos en Sistema REDATAM (Versión CD). Buenos Aires.
- Moreno Jiménez, A. 2001. *Geomarketing con Sistemas de Información Geográfica*. Departamento de Geografía, UAM y Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección. AGE. Madrid.
- Moreno Jiménez, A. 2007. Justicia y eficiencia espacial como principios para la planificación: aplicación en la provisión de servicios colectivos con SIG. En *XI Conferencia Iberoamericana de Sistema de Información Geográfica (SIBSIG)*, pp.197-230. UNLu. Luján.
- Moreno Jiménez, A. y J. Bosque Sendra. 2004. *Sistemas de Información Geográfica y localización óptima de equipamientos*. Ra-ma. Madrid.
- Tomlin, C.D. 1990. *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. Prentice Hall. New Jersey.
- Vapñarsky, C.A. 1990. *El crecimiento urbano en Argentina*. Grupo Editor Latinoamericano. Buenos Aires.



# LA EVALUACIÓN MULTICRITERIO EN EL ESPACIO REGIONAL Y DIMENSIÓN HISTÓRICO-ARQUEOLÓGICA

Sonia L. Lanzelotti

## INTRODUCCIÓN: GEOGRAFÍA, ANTROPOLOGÍA Y SIG

LA GEOGRAFÍA y la Arqueología son disciplinas que se vinculan más de lo que suele creerse. El *espacio geográfico*, en tanto objeto de estudio propio de la Geografía, y la *cultura*, en tanto objeto de estudio exclusivo de las Ciencias Antropológicas (y de la arqueología, que estudia las culturas del pasado) tienen varios puntos en común. Uno de ellos es el fin último de su estudio: conocer cómo se relaciona la sociedad con el medio. Si el interés está puesto en indagar cómo es esta relación en nuestra propia sociedad, el tema será abordado desde la Geografía, pero si el interés está puesto en alguna sociedad del pasado, el tema será abordado desde la Arqueología.

El *espacio geográfico* es un elemento de alto potencial para comprender la lógica estructural de las sociedades, ya sean pretéritas o actuales. En él se haya plasmada la sociedad que lo organizó y que lo transformó de forma acumulativa en el tiempo, sus estructuras sociales, el grado de cohesión de las mismas, la capacidad tecnológica, e incluso la ideología y la organización política (Carlos Izquierdo 1990, Criado Boado 1993). Si bien hay tantas definiciones de *espacio* en Geografía como de *cultura* en Arqueología, lo que es indudable es que en el *espacio geográfico* -o *paisaje*, para utilizar el término de uso corriente en arqueología- se encuentran plasmadas las sucesivas intervenciones humanas a lo largo del tiempo.

Desde el punto de vista teórico, la Geografía y la Arqueología se han vinculado ya desde inicios del siglo XX (Barros y Nastri 1995, Knapp y Ashmore 1999). Cabe señalar que en ambas disciplinas, las teorías que se preocupan como conocer el uso del espacio, el *paisaje*

o la *espacialidad* de las sociedades tiene varias y muy diferentes orientaciones: para algunas corrientes, el espacio es el sustrato que determina las acciones del hombre, mientras que para otros acercamientos, el espacio existe en tanto que es conceptualizado, percibido y vivenciado por los sujetos del pasado.

La aplicación de metodologías geográficas de análisis espacial a la investigación arqueológica se retrotrae a la década de 1970 (Hodder y Orton 1976; Clarke 1977). En los últimos veinte años estas aplicaciones se basaron claramente en el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), tanto para la incorporación del procesamiento digital de imágenes satelitales centrada en aspectos topográficos y paisajísticos (Parcak 2009; Comer y Harrower 2013) como en la aplicación de procedimientos basados en la modelización cartográfica de la realidad (Kvamme 1999; Parceró Oubiña 2000; Conolly y Lake 2006). En Argentina, la utilización de SIG en arqueología también se vio incrementada en los últimos años con diversidad de temas y enfoques (ver Figuerero Torres e Izeta 2011; Coll 2013; Villafañez 2013; Zucarelli 2014, entre otros), aunque aún quedan muchos temas teóricos y metodológicos por explorar.

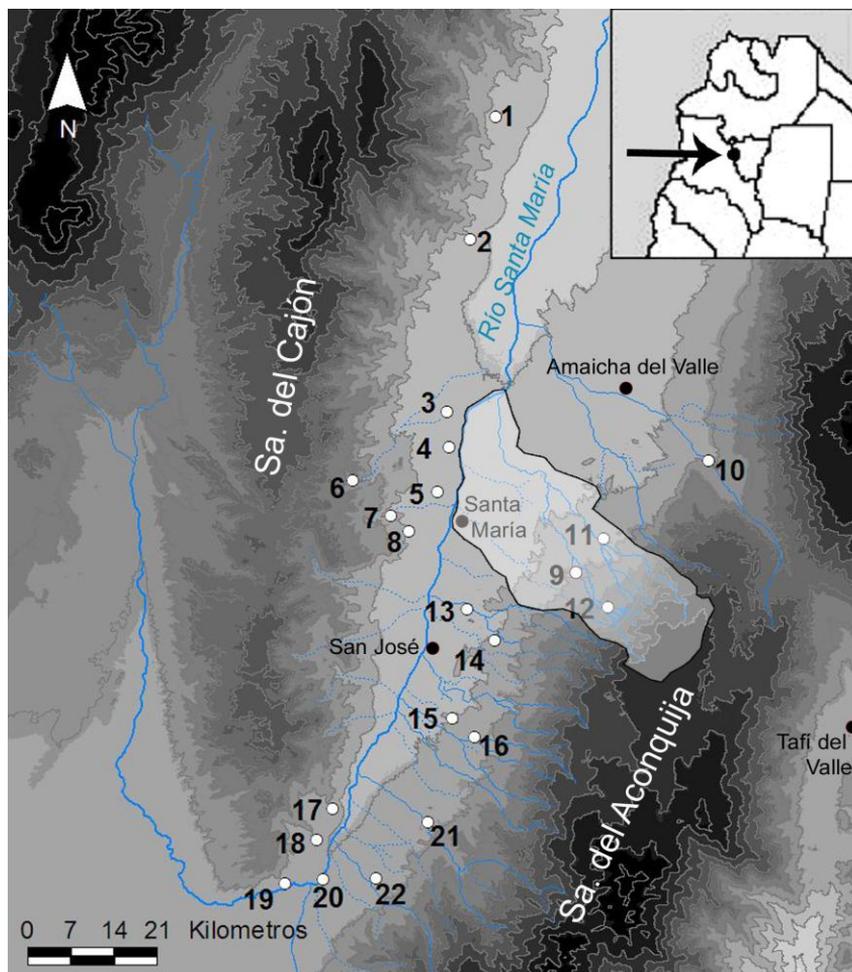
En este trabajo ejemplificaremos cómo una metodología estrictamente de base geográfica -la *evaluación multicriterio*- puede ser de utilidad para el análisis arqueológico. Puntualmente, el ejemplo se basa en la aplicación de técnicas del modelado cartográfico y búsqueda de lugares óptimos para el desarrollo de agricultura prehispánica en un sector de los Valles Calchaquíes, en la provincia de Catamarca, Argentina (Figura 1)<sup>1</sup>.

El área de estudio fue seleccionada justamente por su riqueza arqueológica, que indican que se trata de una región con un desarrollo demográfico y económico notable en los últimos años anteriores a la Conquista (Tarragó 2003). De acuerdo a estas investigaciones, las sociedades de base agropecuaria se habrían asentado allí hace alrededor de 3000 años Antes del Presente (AP), dando inicio a lo que se conoce como Período Temprano o Formativo. Posteriormente, hace unos 1000 años AP se produjo un

---

<sup>1</sup> Para un desarrollo completo de trabajo y una comparación con la producción agrícola actual véase Lanzelotti y Buzai (2015).

fuerte aumento demográfico junto a un marcado proceso de expansión e intensificación agrícola y ganadera, que corresponde al período Tardío o de los Desarrollos Regionales (Tarragó 2000).



**Figura 1.** Valle de Santa María con indicación del área de estudio. Los puntos corresponden a poblados prehispánicos conocidos. Tomado de Lanzelotti (2012).

El valle también ha sido testigo de la llegada del inca a mediados del siglo XV y, poco después, del español. Esto último desencadenó

una prolongada resistencia a la colonización, período conocido como el de las "Guerras Calchaquies" y que culmina con el traslado de poblaciones completas, lo que provocó el despoblamiento o vaciamiento poblacional del valle (Lorandi y Boixadós 1988). Recién a fines del siglo XIX con el establecimiento deL Estado Nación, comienza un nuevo período de repoblamiento, que se plasma en la estructura socioeconómica y demográfica actual.

La pregunta que queremos responder es la siguiente: ¿cuáles son los sectores del valle de Yocavil que se utilizaron para la producción agrícola prehispánica? El primer paso para responder esta pregunta consiste en reflexionar acerca de cuáles son los factores naturales y antrópicos que pudieron incidir en la decisión de la poblaciones prehispánicas para destinar determinados espacios para el cultivo. En segundo lugar, se deben buscar los lugares que cumplen con todos o con la mayoría de estos criterios. Finalmente, y para corroborar la hipótesis, se debe realizar el trabajo de campo que permita identificar la existencia de infraestructuras prehispánica en los distintos espacios.

La Arqueología brinda las herramientas para el primer y el tercer punto, en tanto que la Geografía brindará las herramientas de análisis espacial. Veámoslos a continuación.

## **HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS**

### **Análisis de superposición cartográfica**

La *superposición* es la metodología que tiene como objetivo encontrar respuesta a "cuáles son los sitios de mayor aptitud locacional" para determinado tema, a partir de considerar las áreas de asociación espacial entre diferentes características en forma de capas temáticas (Buzai y Baxendale 2011). El método de *superposición* (*overlay*, coincidencia espacial) de regiones formadas por una única variable permite la descomposición de un todo en partes que generan áreas homogéneas. Este procedimiento da como resultado la construcción de espacios homogéneos en base a la combinación de variables.

## **Análisis de evaluación multicriterio**

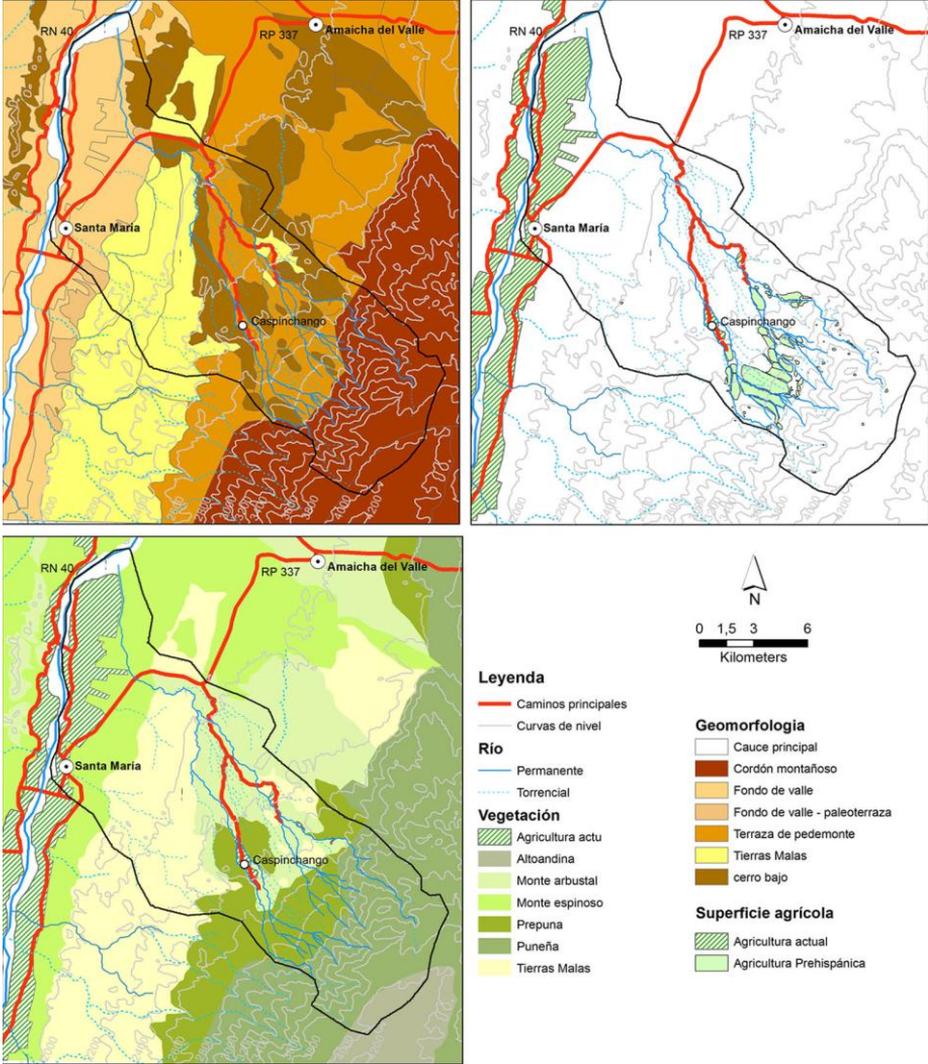
La Evaluación Multicriterio (EMC) es un procedimiento de análisis que comienza con la información básica compuesta por variables en formato de *layers* que sirven como criterios para llevar adelante los procedimientos de evaluación. Hay dos tipos de criterios: aquellos que presentan valores de aptitud continua en cada variable para asignar el uso del suelo que se intenta ubicar, llamados *factores*, y las capas temáticas que actúan con la finalidad de asignar los resultados en un sector delimitado del área de estudio, llamados *restricciones*.

Una decisión locacional en la cual se minimiza el riesgo de seleccionar un lugar inadecuado se realiza a través de aplicar uno de los procesos de mayor selectividad, como es el trabajar únicamente con mapas de restricciones.

Una solución A es el resultado de una intersección espacial del tipo AND (correspondencia completa) y la solución B se desarrolla por el eje del riesgo entre AND y OR. Dentro de la variedad de soluciones posibles, desde el AND al OR nos dirigimos en un sentido de ampliación del tamaño del área resultante con diferencial aptitud y eso nos permitirá obtener resultados variados respecto de la distribución espacial total de los sitios de asentamiento en el área de estudio.

## **Construcción de mapas temáticos**

Cada mapa temático debe contener una de las características deseables para el desarrollo agrícola. Para construir estos mapas temáticos en nuestra región de interés se utilizaron los estudios regionales (Ruiz Huidobro 1972; Morlans 1995; Lanzelotti 2012) y se aplicó teledetección (Chuvieco 1996) para mapear la hidrografía, el relieve, la geomorfología, la vegetación, la evidencia arqueológica, los usos del suelo actual y vías de circulación específicos, los cuales fueron corregidos en base a observaciones *in situ*. Los mapas finales pueden observarse en la Figura 2.



**Figura 2.** Mapas temáticos del área de estudio. Arriba a la derecha: Vegetación; Abajo a la derecha: Geomorfología. Arriba a la izquierda: Agricultura prehispánica y agricultura actual. Elaboración de la autora.

## **Construcción de mapas booleanos**

En base al conocimiento del área, fueron seleccionadas las siguientes categorías en cada mapa temático, para ser utilizados como criterio para modelar las áreas de potencialidad agrícola:

1) *Hidrografía*: cursos de agua (o los sectores de los cursos de agua) de régimen permanente, con un *buffer* de 400 metros. Se descartaron los cursos de agua de régimen intermitente y/torrencial, debido a su inutilidad para la práctica agrícola.

2) *Geomorfología*: se seleccionaron las áreas pedemontanas y el fondo de valle.

3) *Altitud*: se seleccionó la superficie con una altitud de hasta 3000 metros sobre el nivel del mar.

4) *Vegetación*: las provincias fitogeográficas seleccionadas fueron las de Monte (Distritos Arbustal y Espinoso) y Prepuna.

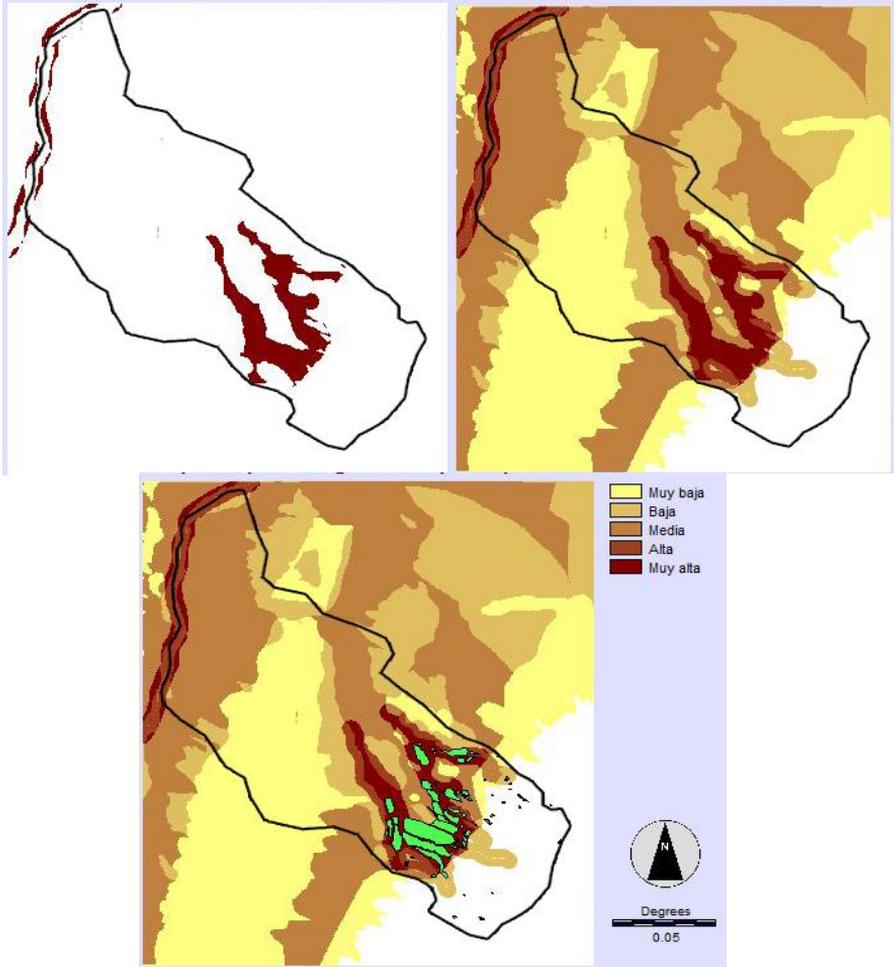
5) *Uso del suelo actual*: áreas utilizadas para la producción agrícola actual.

6) *Registro arqueológico*: áreas arqueológicas con evidencia de infraestructura agrícola. Cabe destacar que la superficie inmediatamente adyacente al río Santa María se encuentra actualmente parcelada. Esto hace que no se observe evidencia arqueológica en superficie, aunque pudo haberla en el pasado.

## **RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

La superposición de mapas con las variables seleccionadas para modelar las áreas aptas para el desarrollo de la agricultura prehispánica puede observarse en la Figura 3. Esta figura muestra en primer lugar el mapa de multiplicación de variables, donde el área que queda delimitada cumple con todos los criterios que se consideran indispensables para la producción agrícola. En segundo lugar, la Figura 3 muestra también el mapa de "grados de aptitud", donde el resultado se obtuvo de la sumatoria de las variable, donde el número mayor corresponde al área de aptitud óptima, y en

sentido decreciente, se muestran los lugares que cumplen cada vez con menos criterios.



**Figura 3.** Modelo de aptitud para la agricultura. Arriba-izquierda: aptitud máxima. Centro-derecha: grados de aptitud; Abajo-izquierda: superposición con las estructuras agrícolas arqueológicas. Tomados y modificado de Lanzelotti y Buzai (2015).

Al superponer estos mapas con el registro de infraestructura agrícola arqueológica, vemos una importante correspondencia espacial con las áreas de mayor aptitud. De este modo podemos proponer que los criterios que hemos utilizado en nuestra evaluación son correctos.

El lugar con mayor cantidad de áreas arqueológicas con evidencia de infraestructura agrícola se ubica en el sector pedemontano proximal y medial, a una altitud de entre 2000 y 3000 msnm, y donde los cursos de agua de los arroyos principales (Caspinchango y Masao) tienen agua permanente. Las estructuras arqueológicas ocupan aquí una superficie total de 744,1. Puntualizamos nuevamente que en el *Fondo de Valle* también pudo haber sido utilizado en el pasado, aunque actualmente es imposible detectarlas por el uso actual de este espacio. Podemos postular que durante la etapa prehispánica, las sociedades practicaban la agricultura principalmente en las terrazas pedemontanas, en cercanía directa a las fuentes de agua.

La metodología de modelado cartográfico y de evaluación multicriterio presentados también podría aplicarse para la localización de áreas para la producción agrícola actual. Sin embargo, deberían agregarse otros criterios de selección, dado que la agricultura actual se practica mayormente sobre las márgenes inmediatas del río Santa María. Podemos explicar este fenómeno teniendo en cuenta la disponibilidad actual de caminos, que condicionan la circulación de los productos, aunque continúan siendo llamativa la sub-explotación actual del sector pedemontano. Consideramos que esto sucede ante la falta o precariedad de los caminos, además de la escasa población residente (Lanzelotti y Buzai 2015).

Este ejemplo muestra que la lógica de la producción agrícola prehispánica y la lógica de la producción agrícola actual son diferentes. Queda claro que la diferencia no está en el espacio geográfico, sino en las estructuras socio-productivas que se apropian de él.

## BIBLIOGRAFÍA

- Barros, C. y J. Natri. 1995. *La perspectiva espacial en arqueología*. Centro Editor de América Latina. Buenos Aires.
- Buzai, G.D.; Baxendale C.A. 2011. *Análisis socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Tomo 1: Perspectiva científica – temáticas de base raster*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Rial. Madrid.
- Coll, L.V.J. 2013. Análisis Espacial en Arqueología. Lineamientos para modelar el uso del espacio agropastoril en el oeste tinogasteño (Catamarca). En: Ratto, N. (comp.) *Delineando prácticas de la gente en el pasado: los procesos socio-históricos del oeste catamarqueño*, pp. 449-463. Sociedad Argentina de Antropología. Buenos Aires.
- Comer, D.C.; Harrower, M.J. 2013. *Mapping Archeological Landscapes from Space*. Springer. New York.
- Conolly, J. y M. Lake. 2006. *Geographical Information Systems in Archeology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Fernandez, J., V.Markgraf, H. Panarello, M. Albero, F. Angiolini, S. Valencio y M. Arriaga. 1991. Late Pleistocene/Early Holocene Environments, Climates, Fauna and Human Occupation in the Argentine Altiplano. *Geoarchaeology* 6(3):251-272.
- Figuerero Torres, M.J. y A. Izeta. (eds.) 2013 *El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la arqueología sudamericana*. Archaeopress, Oxford.
- Garralla, S. 2003. Análisis polínico de una secuencia sedimentaria del Holoceno Tardío en el Abra del Infiernillo, Tucumán, Argentina. *Polen* 12:53-63.
- González, O., M. Viruel, R. Mon, P. Tchilingurian, E. Barber. 2000. *Hoja Geológica 2766-II San Miguel de Tucumán*. Boletín N° 245. Programa Nacional de Cartas Geológica de la República Argentina 1:250000. Servicio Geológico Minero Argentino. Buenos Aires.
- Hodder, I. y C. Orton. 1990. *Análisis Espacial en Arqueología*. Crítica. Barcelona.

- Knapp, A.B. y W. Ashmore. 1999. Archaeological landscapes: Constructed, conceptualized, ideational. En *Archaeologies of Landscape: Contemporary Perspectives*, pp. 1-30. Blackwell Publishers, Malden.
- Kvamme, K.L. 1999. Recent directions and development in geographical information systems. *Journal of Archaeological Research* 7.
- Lanzelotti, S.L. 2012. *Uso del espacio y construcción del paisaje agrícola en la cuenca del río Caspinchango, valle de Yocavil, provincia de Catamarca*. Tesis de Doctorado inédita. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad de Buenos Aires.
- Lanzelotti, S.L. y G.D. Buzai. 2015. Modelos de aptitud para la agricultura prehispánica y actual en el valle de Santa María, Catamarca, Argentina. Luján, inédito.
- Lorandi, A.M. y R. Boixadós. 1988. Etnohistoria de los valles Calchaqués en los siglos XVI y XVII. *Runa* 17-18: 227-424.
- Mórlans, M. 1995. Regiones naturales de Catamarca. Provincias geológicas y provincias fitogeográficas. En: *Publicaciones On line, Área Ecología*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Catamarca. Disponible en:  
<http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/006-fitogeografia-catamarca.pdf>
- Parcak, S.H. 2009. *Satellite Remote Sensing for Archeology*. Routledge. Abingdon.
- Parcero Oubiña, C. 2000. *La construcción del paisaje social en la Edad de Hierro del noroeste ibérico*. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Geografía e Historia, Universidad de Santiago de Compostela. Disponible en <http://digital.csic.es>
- Ruiz Huidobro, O. 1972. Descripción geológica de la Hoja 11e, Santa María (Catamarca y Tucumán). *Boletín del Servicio Nacional Minero Geológico* 134: 1-72.
- Tarragó, M. 2000. Chacras y pukara. Desarrollos sociales tardíos. En M. Tarragó (dir.) *Nueva Historia Argentina, Tomo I: Los Pueblos Originarios y la Conquista*, pp. 257-299. Sudamericana, Buenos Aires.
- Tarragó, M. 2003. Arqueología de los Valles Calchaqués en perspectiva histórica. *Anales Nueva Época* 6: 13-42.
- Villafáñez, E. 2013. *Espacio y paisaje entre el Cañón de Paclín y el Valle de Ambato, Provincia de Catamarca. El caso del Valle de*

*Sonia L. Lanzelotti*

*Balcosna para el primer milenio de la era.* Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Antropológicas, Universidad Nacional de Córdoba.

Zuccarelli, V.N. 2014. Primeras aproximaciones al paisaje agrario del norte de la sierra el Alto-Ancasti: un análisis multi-escalar. *Arqueología* 20 (1): 115-141.

# MODELOS MULTICRITERIO BASADOS EN FUNCIONES DE UTILIDAD

*Liliana Ramirez y Romina Claret*

## INTRODUCCIÓN

LA GEOGRAFÍA Cuantitativa tiene su origen más reconocido en el artículo publicado por Fred Schaefer en la revista *Annals of the Association of American Geographers* en 1953, denominado *Exceptionalism in Geography: A methodological examination*, a partir de ese momento el camino recorrido por los estudios geográficos que adhieren a esta corriente ha sido por demás profuso y ha generado un valioso conjunto de conocimientos científicos. Schaefer sostenía que toda ciencia debe preocuparse por la búsqueda de leyes ya que ese es el fin último de toda producción científica, para ello se requiere de manera inequívoca el uso de métodos cuantitativos que permitan la generación de hipótesis, que al ser contrastadas con la realidad podrían convertirse en teorías y leyes científicas. Así la Nueva Geografía se identificó con la utilización de técnicas estadísticas, con el énfasis en la formulación de leyes frente a la simple descripción idiográfica y, con la metodología deductiva y teórica. Después de más de sesenta años de aquel texto que significó un punto de inflexión en la investigación en Geografía, y más allá de los reparos que se leen respecto de los resultados que se alcanzan, el enfoque cuantitativo no ha perdido vigencia y, en ocasiones, advertimos como se fortalece cada vez que se accede, por ejemplo, a nuevos datos censales.

En consonancia con la propuesta del enfoque cuantitativo el presente trabajo es la región de encuentro de tres temáticas de relevante interés tanto desde el punto de vista conceptual como técnico-metodológico: por un lado el concepto de Salud Ambiental (SA) y el proceso que conlleva su operacionalización; por otro lado la utilización de los modelos multicriterio basados en funciones de utilidad -también conocidos como modelos de utilidad multiatributo

- *multi-attribute utility model* (MAUT)- que serán utilizados para tratar la complejidad y diversidad de variables o dimensiones intervinientes en la definición de la SA; finalmente, la obtención de un índice de SA como expresión de síntesis de un elevado número de indicadores estadísticos que tienen como fuente al Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda de 2010. Corrientes y el Área Metropolitana del Gran Resistencia –AMGR-, capitales de la provincia homónima y de Chaco, respectivamente, son los espacios geográficos elegidos para aplicar el modelo señalado y para territorializar el Índice de Salud Ambiental (ISA).

## LA PERSPECTIVA CONCEPTUAL

### La Salud Ambiental

Las relaciones entre la salud humana y las influencias ambientales derivaron en el surgimiento del concepto *Salud Ambiental* (SA) que, acorde con lo expresado por la Organización Mundial de la Salud (1989) “comprende aquellos aspectos de la salud y la enfermedad humanas que son determinados por factores del ambiente. También se refiere a la teoría y práctica de valorar y controlar factores en el ambiente que estén en posibilidades de afectar la salud” (Gosselin, 2001). Posteriormente, tras la cumbre de Río de Janeiro en 1992, se revisa este concepto de *Salud Ambiental* especificando la participación de distintos factores e incorporando las actividades de *corrección, control y prevención* con relación a los impactos de los factores ambientales determinantes en el ser humano, con lo cual se expone una nueva definición: “*la salud ambiental comprende aquellos aspectos de la salud humana incluyendo la calidad de vida, que son determinados por factores físicos, químicos, biológicos, sociales y psicológicos en el medio ambiente. También se refiere a la teoría y práctica de valorar, corregir, controlar y evitar aquellos factores en el medio ambiente que potencialmente puedan perjudicar la salud de generaciones actuales y futuras*”(Gosselin, 2001).

El interés por indagar cuestiones relativas a la *Salud Ambiental* nos ha llevado a idear un Índice que intenta sintetizar un conjunto

de variables que se miden y se registran en ocasiones de censos nacionales y que dan cuenta de algunas de las dimensiones o campos de actuación de la SA. Esta medición entiende y atiende al entorno inmediato en el que vive la población: características de la vivienda (calmat, techo y piso), acceso al agua segura y a la eliminación de excretas.

## **Los Modelos de Utilidad Multiatributo**

Los modelos multiatributo o modelos de utilidad multiatributo (MAUT), forman parte del amplio abanico de métodos de evaluación y decisión multicriterio. Pueden ser definidos como aquellos que están diseñados para obtener la utilidad de alternativas a través de los atributos valiosos, que deben ser evaluados como componentes de los criterios (Hernández *et al.* 2002). Para cada atributo o indicador se determina la correspondiente función de utilidad (parcial), y luego se agregan en una función de utilidad multiatributo de forma aditiva o multiplicativa. Esta utilidad, en ocasiones puede ser ponderada de acuerdo a la importancia de cada una de ellas. El rigor y rigidez de los supuestos teóricos de este método requiere un elevado nivel de información del agente decisor para la construcción de funciones de utilidad multiatributo (Martínez 1998, cit. por Avila Mogollón 2000).

El principal objetivo de estos modelos de utilidad multiatributo es auxiliar a los centros decisores a describir evaluar, ordenar, jerarquizar, seleccionar o rechazar objetos en base a una evaluación (expresada por puntuaciones, valores o intensidades de preferencia) de acuerdo con varios criterios (Colson y De Bruin 1989, cit. por Barredo Cano, 1996). Esto admite que se transformen en herramientas que permiten analizar y dar cuenta de complejas situaciones de la realidad actual. De acuerdo con los fines específicos de nuestro trabajo el modelo multiatributo estará representado por los distintos indicadores que nos brindan información acerca de las variables que, enmarcadas en las dimensiones que más adelante se detallarán, darán cuenta de la SA.

## **Los Indicadores e Índices**

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo (OCDE), las dos funciones principales de los indicadores ambientales son: (\*) Reducir el número de medidas y parámetros que normalmente se requieren para ofrecer una presentación lo más cercana posible a la realidad de una situación y (\*\*) Simplificar los procesos de comunicación. No obstante, cuando se utiliza un parámetro o un indicador para describir la situación de un tema, frecuentemente ocurre que no refleja bien la condición del sistema o lo simplifica, de tal suerte que resulta inútil para la toma de decisiones. Por ello, a menudo se recurre a la elaboración de índices y conjuntos de indicadores (OCDE 1998).

Estas ideas que se dirigen a indicadores ambientales bien se pueden utilizar para todo tipo de indicadores, de ahí la pertinencia de ellas en este texto. Paralelamente no queremos dejar de mencionar que cualquier tipo de indicador o índice se apoya en un sistema de estadísticas que son relevadas periódicamente desde los organismos encargados de hacerlo, así, mediante datos estadísticos, es posible construir indicadores técnicamente robustos, cuya utilidad, según Hernández, radica en poder contar con información que permita precisar mecanismos de planificación focalizada basados en indicadores de la condición de pobreza de las personas o de los hogares ya que actualmente, la mayoría de los mecanismos de focalización en las políticas sociales se valen de información estadística disponible a distintos niveles de agregación para identificar a los posibles beneficiarios (Hernández 2005).

Además de la OCDE, otro organismo, como el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad de España (1999), señala que los **Planes Nacionales de Acción sobre Salud y Medio Ambiente** (NEHAPs) deben apoyarse en un sistema de información sobre salud y medio ambiente, que permita desarrollar la vigilancia de los factores ambientales determinantes de los estados de salud, que sirva para elaborar una política de acciones y comunicación con el público, y al mismo tiempo que posibilite la comparación a nivel internacional entre los propios Estados Miembros.

La propuesta del ISA se apoya en el convencimiento de que cumple con las funciones y con la utilidad que los organismos

internacionales recomiendan, ya que se refiere a un conjunto de variables que dan cuenta del entorno inmediato de la población que es uno de los factores determinantes de la salud de la población y por otra parte consideramos que tiene un efecto comunicativo relevante para el colectivo decisor que tiene en sus manos la gestión de la política pública. Asimismo, y en concordancia con las recomendaciones de la OCDE, es un índice que deviene de un sistema de información oficial como es el Censo lo que debiera asegurar contar con datos para las actualizaciones.

### **Concluyendo**

Concluyendo este primer apartado y luego de todo lo expresado el objetivo de esta contribución es elaborar el Índice Salud Ambiental para los conglomerados de Corrientes y el AMGR basándonos en un Modelo de Utilidad Multiatributo de tipo aditivo que permita dar cuenta de la prelación a los radios censales que se encuentran en situación de vulnerabilidad y como consecuencia conocer la cantidad de población expuesta. El esquema puede observarse en la Figura 1.

## **EL AREA DE ESTUDIO Y LAS DIMENSIONES INTERVINIENTES**

Como hemos adelantado el trabajo se centra en analizar dos conglomerados del Nordeste Argentino: el Área Metropolitana del Gran Resistencia (Chaco) y Corrientes (capital la provincia del mismo nombre) (Figura 2). La unidad de análisis que se utilizó es el radio censal (RC), el AMGR tiene 426 RC, mientras que Corrientes tiene 300 RC.

Las dimensiones y variables seleccionadas que definen la Salud Ambiental son las que ya hemos definido en trabajos anteriores utilizando datos 2001 (*Cfr.* Ramírez y Claret, 2014a, 2014b y 2014c) y que, en esta ocasión se han adaptado a lo que se relevó en el Censo Nacional de Población, Hogares y Vivienda 2010, que pueden observarse en el Cuadro 1.

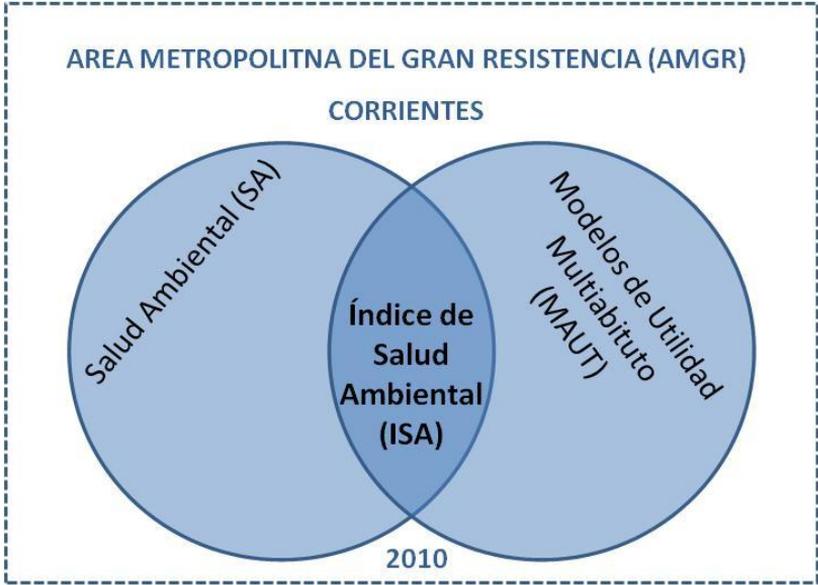


Figura 1. Esquema

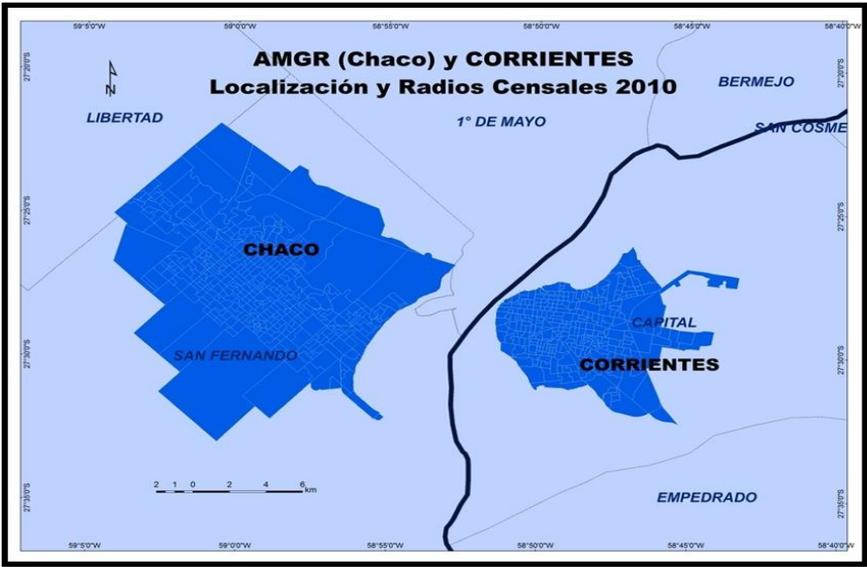


Figura 2. Área de Estudio. Elaboración del autor, en base a INDEC, 2010.

**Cuadro 1.** Indicadores de Salud Ambiental

<b>Dimensión: condiciones de la vivienda, instalaciones y habitabilidad</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Código asignado</b>
<b>Hacinamiento (INDHAC):</b> representa el cociente entre la cantidad total de personas del hogar y la cantidad total de habitaciones o piezas de que dispone el mismo (sin contar baño/s y cocina/s). Más de 3 personas por cuarto.	H_INDHAC5y6
<b>Calidad de los materiales de la Vivienda</b> CALMAT III y IV (condiciones más deficientes) <i>Calidad III:</i> la vivienda presenta materiales poco resistentes y sólidos en techo y en pisos. <i>Calidad IV:</i> la vivienda presenta materiales de baja calidad en pisos y techos.	H_Calmat3y4
<b>Material predominante de los pisos</b> Tierra o ladrillo suelto y otros	H_Pisos3y4
<b>Material de la cubierta exterior del techo</b> Chapa de cartón, Caña, palma, tabla o paja con o sin barro y Otros	H_techo678
<b>Dimensión: acceso a Servicios Públicos agua, saneamiento</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Código asignado</b>
<b>Hogares Sin acceso a agua de red pública</b> <i>No acceso a la Red Pública (agua segura) incluye:</i> Perforación con bomba a motor, Perforación con bomba manual, Pozo, Transporte por cisterna, Agua de lluvia, río, canal, arroyo o acequia	H_sinred
<b>Hogares Sin desagüe del inodoro a red pública</b> <i>No disponibilidad de cloacas, incluye desagüe a:</i> cámara séptica y pozo ciego, Sólo a pozo ciego, A hoyo, excavación en la tierra, etc.	H_sincloaca

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

Los materiales para alcanzar los objetivos propuestos involucran las siguientes fuentes de información:

- Base espacial georreferenciada de las áreas que son objeto de estudio y que han sido proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).
- Base de estadísticas del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas, INDEC, 2010, procesamiento de datos basado en Redatam+SP.

En cuanto a las etapas metodológicas que llevamos adelante para alcanzar los propósitos enunciados se pueden sintetizar del siguiente modo:

- Etapa 1: Procesamiento de las variables que conforman las dimensiones indicadas en el apartado anterior. Esta fase permitió obtener los valores absolutos y los indicadores simples de cada una de ellas a la vez que apreciar el comportamiento de las mismas a través de un análisis exploratorio de los datos.
- Etapa 2: Estandarización de los valores de los indicadores. En efecto, si bien todos los indicadores contribuyen a generar externalidades negativas, en su interior presentan importantes diferencias, por ello luego de generar los valores relativos los mismos fueron estandarizados considerando que la utilidad 0 es concordante con el valor menos desfavorable [o más favorable] al evento que se analiza, mientras que el valor 1 representa el valor menos favorable [o más desfavorable]. Así un radio censal que tenga el 100% de hogares sin acceso a agua por red obtendrá el mayor valor estandarizado, es decir 1. Esta estandarización se logró a partir de la siguiente notación:

$$U_t = 1 - \left\{ \frac{X_{\min} - X}{X_{\min} - X_{\max}} \right\}$$

- Etapa 3: En esta etapa se definió, para cada dimensión y luego para cada indicador, la ponderación o peso dentro del modelo de utilidad. En la tabla que sigue se muestra el modelo de utilidad multiatributo (MAUT) empleado.

**Cuadro 2.** Ponderación de los Indicadores de Salud Ambiental

<b>DIMENSION E INDICADOR</b>	<b>PONDERACION</b>
<b><i>Dimensión: condiciones de la vivienda, instalaciones y habitabilidad</i></b>	<b>0,60</b>
H_INDHAC5y6	0,20
H_Calmat3y4	0,20
H_Pisos3y4	0,10
H_techo678	0,10
<b><i>Dimensión: acceso a Servicios Públicos agua, saneamiento</i></b>	<b>0,40</b>
H_sinred	0,20
H_sincloaca	0,20

- Etapa 4: La estandarización de los indicadores, la obtención de la utilidad y la ponderación de la utilidad por el valor elegido permitió a través de una función aditiva permitió llegar al ISA. Finalmente se identificaron los territorios y los colectivos poblacionales más comprometidos que deberían ser considerados como prioritarios en una eventual asignación de recursos proveniente de políticas públicas.

## RESULTADOS

Si bien los resultados son múltiples vamos a dividirlos en dos secciones, en una primera mostraremos las estadísticas que describen la situación y la cartografía que permite conocer los territorios más expuestos y en una segunda sección daremos cuenta de los colectivos poblacionales que se encuentran en una situación menos ventajosa.

### Descripción estadística y espacial del ISA en el AMGR y en Corrientes

De acuerdo con el procedimiento desarrollado el valor máximo del ISA puede alcanzar el valor de 1, esto surge luego de obtener las utilidades de cada variable y ponderarlas por aquel valor que hemos asignado en el cuadro 2. Así en el gráfico 1 se puede apreciar que el valor mínimo en ambos conglomerados es 0, el valor promedio es mayor en el AMGR, cercano a 0,2, mientras que en Corrientes apenas supera el 0,1, esto daría cuenta de una aparente mejor situación en esta segunda ciudad. La amplitud de la caja del diagrama estaría mostrando una mayor dispersión en el AMGR, sin embargo la aparición de valores atípicos (*outliers*) en Corrientes nos permite señalar que existen sectores con valores muy alejados de los valores típicos del conjunto dando cuenta de su situación más crítica en esas áreas.

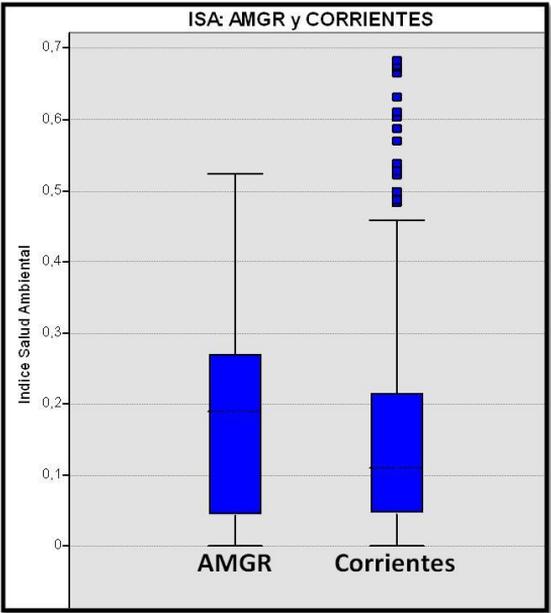


Figura 3. Estadísticos descriptivos del ISA.

Respecto de la distribución del ISA y la localización de aquellos espacios más comprometidos la Figura 4 nos ayuda a describir esta situación. En el caso del AMGR el patrón de distribución muestra un reparto que no deja de semejarse a las coronas de expansión o crecimiento urbano, un centro en mejores condiciones y una periferia más comprometida. En cuanto a los valores máximos que se alcanzan éstos se corresponden al intervalo que comprende a 1,5 a 2,5 desviaciones de la media es decir entre 0,37 y 0,52 como valores más extremos.

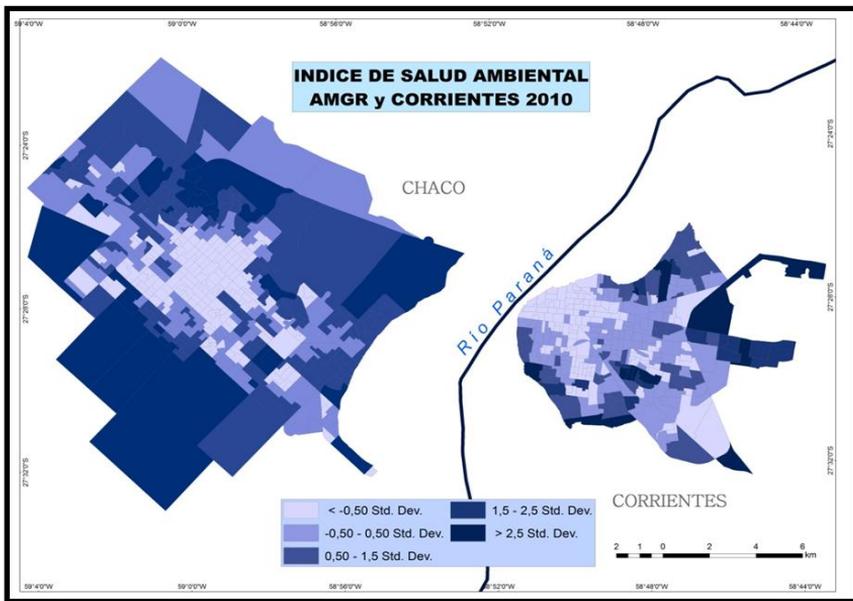


Figura 4. Distribución del ISA, 2010. Elaboración del autor.

La distribución en la ciudad de Corrientes también se corresponde con la expansión urbana que ha experimentado, el sector menos crítico se encuentra en el extremo noroeste coincidente con el área portuaria y más antigua de la ciudad; hacia el sur y noreste nos encontramos con las áreas que obtienen un ISA más elevado. A diferencia del AMGR en Corrientes los valores más extremos que se registran se ubican en la categoría que contiene más de 2,5 veces el valor medio es decir entre 0,52 y 0,68 valores de

ISA. Tal como se había señalado al describir el gráfico de caja, éstos son los valores atípicos respecto del conjunto.

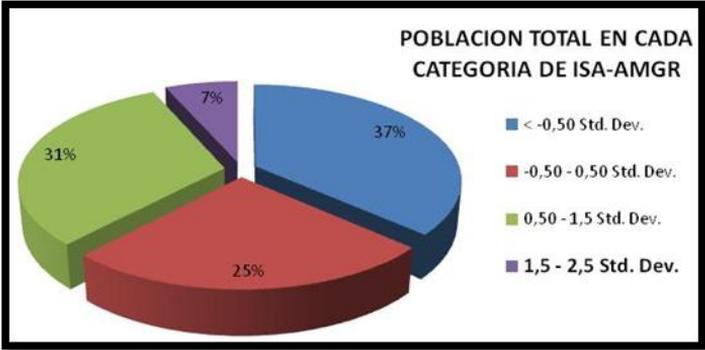


Figura 5. Distribución de población según categoría de ISA - AMGR.

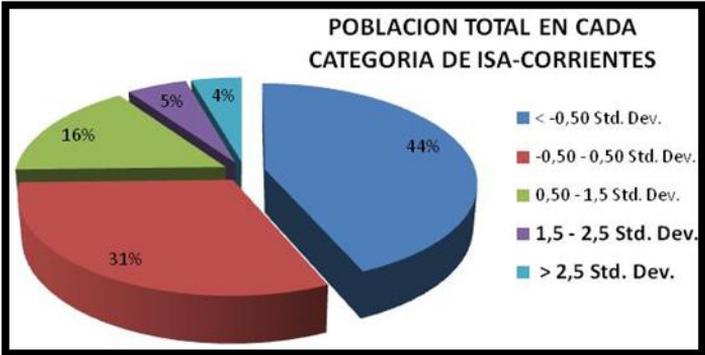


Figura 6. Distribución de población según categoría de ISA- Corrientes.

**Los colectivos poblacionales más comprometidos**

En una primera mirada sobre la población que reside en los radios censales según cada una de las categorías en la que hemos dividido el territorio a partir del ISA obtenido, podemos apreciar las diferencias en ambos conglomerados. En efecto, las Figuras 5 y 6 que representan estos datos, nos permiten reforzar la idea ya expresada de que en Corrientes la variabilidad es mayor, los dos primeros grupos (condiciones más favorables) reúnen una mayor cantidad de

población si los comparamos con el AMGR, 75% y 62% respectivamente; sin embargo al observar las categorías más críticas, en el AMGR no se distinguen radios censales en la última clase (más de 2,5 veces la desviación), mientras que en Corrientes, esta última categoría, que contiene a los ya citados radios con valores atípicos, reúne el 4% de la población.

Con el propósito de conocer la cantidad de habitantes que se encuentran en situación de mayor vulnerabilidad al considerar el ISA obtenido, hemos definido cuántas personas se encuentran residiendo en aquellos radios censales que obtuvieron valores de ISA por sobre 1,5 desviaciones de la media.

En el AMGR son 30 radios censales los que se ubican entre 1,5 y 2,5 veces la media, sin superar este último valor. Estas unidades espaciales (que pueden ser visualizadas en el mapa 2) contienen el 7,49% de la población y el 7,06% de los hogares. En términos absolutos podemos decir que cerca de 29.000 personas se encuentran en condiciones críticas respecto del acceso al agua segura, de la eliminación de las excretas a través de cloacas, de las características habitacionales de su vivienda (calmat, piso y techo) sumado a la condición de hacinamiento que sobrellevan (ver Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Población (total, mujeres y varones) y hogares con mayor nivel de ISA.

	Valores Absolutos				Valores Porcentuales			
	Total Pobl.	Hogares	Mujeres	Varones	Total Pobl.	Hogares	Mujeres	Varones
<b>AMGR</b> entre 1,5 y 2,5 veces la media	28889	7671	14459	14430	7,49	7,06	7,23	7,76
<b>Corrientes</b> entre 1,5 y 2,5 veces la media y más de 2,5 veces la media	35404	8364	17927	17477	10,36	8,99	10,03	10,72

Según nuestro análisis la ciudad de Corrientes presenta una situación más comprometida ya que como hemos visto las

situaciones extremas superan 2,5 veces la media del ISA. Si bien la cantidad de radios censales en esta situación son 25 (menos que en el AMGR) en ellos reside más del 10% de la población que en términos absolutos son más de 35000 habitantes y casi el 9% de los hogares (ver Cuadro 3).

## **COMENTARIOS AL FINAL**

No desconocemos las críticas que desde su génesis ha tenido la Geografía Cuantitativa, por ejemplo: se ha reprochado su alejamiento de la realidad y una pérdida de ciertos aspectos positivos de concepto y de método que caracterizaban a la Geografía; se ha criticado su falta de eficacia para resolver los problemas del espacio; se la ha reprendido porque su uso implicó pérdida del valor de la Geografía en el campo pedagógico; se le han cuestionado sus fríos modelos matemáticos y, entre otras cosas, también se ha dicho que su uso implicó la desaparición de los valores humanos en los estudios geográficos. Sin embargo las décadas han ido transcurriendo y ninguno de los paradigmas que sucedieron a la Geografía Cuantitativa pudo resolver todas estas y otras cuestiones que a ella se le endilgaban.

Creemos que la Geografía Cuantitativa y su poder de adaptación al trabajo con las Tecnologías de la Información Geográfica abrió un camino muy fértil para los estudios geográficos, una senda muy promisoria para el trabajo multidisciplinario que nos vincula con tantos otros profesionales que, en ocasiones, aprecian mucho más que nuestros propios pares, el valor del trabajo en esta línea. El convencimiento de la importancia y del valor del análisis cuantitativo de los datos y de la información geográfica que permiten, entre otras cosas, encontrar y visualizar los desequilibrios, las desigualdades y las inequidades territoriales tendrá que venir por propia experiencia. Nosotros estamos convencidos de que en un mundo en el que se estima que en 2020 se duplicará la información cada 73 días, los estudios geográficos cuantitativos que permiten alcanzar resultados concretos de una realidad tan compleja, seguirán siendo sustanciales.

## BIBLIOGRAFIA

- Avila Mogollón, R. 2000. El AHP (Proceso Analítico Jerárquico) y su aplicación para determinar los usos de las tierras El caso de Brasil. Proyecto Regional Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible (Proyecto Gcp / Rla / 126 / Jpn). Santiago de Chile.
- Barba-Romero, S. 1987. Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones Económicas* 11(2): 279-308.
- Barredo Cano, J. 1996. *Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio*. Editorial RA-MA. Madrid.
- Gosselin, P. C. Furgal y A. Chris. 2001. *Indicadores básicos de salud pública ambiental propuestos para la región de la frontera México-Estados Unidos*. Grupo de trabajo de Salud Ambiental del Programa Frontera XXI México-Estados Unidos.
- Hernández, D., M. Orozco y S. Vázquez. 2005. *La focalización como estrategia de política pública*. Secretaría de Desarrollo Social, Serie Documentos de Investigación. México.
- Hernández, J. y M. García. 2002 "Multiattribute model in Management project on PyMES". En: *3er. Congreso Iberoamericano de Gerencia de Proyectos*. Caracas. Venezuela.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad de España. 1999. *Indicadores de Salud Ambiental: una propuesta de la Oficina Europea de la OMS para su región*. Disponible en: <http://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/medioAmbiente/indAmbientales.htm>
- OCDE. 1998. *Recommendation of the Council on Environmental Information* (Adopted by the Council at its 922<sup>nd</sup> Session on 3 April 1998). Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico, París.
- Ramírez, L. y R. Claret. 2014a. Cómo medir la Salud Ambiental a partir de datos censales. Elaboración de índice y aplicación en el Área metropolitana del Gran Resistencia y Presidencia Roque Sáenz Peña, Chaco. En *Actas del XXXIV Encuentro de Geohistoria Regional*. Instituto de Investigaciones Geohistóricas, CONICET, septiembre de 2014.
- Ramírez, L. y R. Claret. 2014b. Determinación del Índice de salud ambiental para el Chaco y el AMGR. Exploración de patrones de

comportamiento y conglomerados espaciales mediante SIG. En *Actas del III Congreso Internacional de Ordenamiento Territorial y Tecnologías de la Información Geográfica*. Instituto del Conurbano. Universidad Nacional de General Sarmiento. General Sarmiento, Buenos Aires, septiembre de 2014. Disponible en:

[http://ciottig.estudiomanta.com/trabajos/M%C3%A9todos%20y%20T%C3%A9cnicas/33\\_Ramirez\\_Claret.pdf](http://ciottig.estudiomanta.com/trabajos/M%C3%A9todos%20y%20T%C3%A9cnicas/33_Ramirez_Claret.pdf)

Ramírez, L. y R. Claret. 2014c. La Salud Ambiental medida a partir de datos censales. Una mirada sobre el Area Metropolitana del Gran Resistencia y Presidencia Roque Sáenz Peña. *Geográfica Digital del Instituto de Geografía* 21, Enero-Junio 2014.

# Análisis regional



# MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN Y REGIONALIZACIÓN EN BASE CUANTITATIVA

*Luis Humacata*

## **INTRODUCCIÓN**

DESDE LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA se procederá a especificar los procedimientos de construcción regional, como modelo territorial que permite estudiar las manifestaciones espaciales.

A partir de considerar a la región desde instancias metodológicas cuantitativas, se avanzará a desarrollar el concepto de clasificación espacial como procedimiento que permite la obtención de regiones geográficas. En una segunda instancia se enfatizará en los métodos cuantitativos de construcción regional para finalizar con la aplicación a un caso específico. Se ha considerado la construcción de áreas mediante procedimientos de clasificación, a partir del método de Análisis *Linkage*, cuyos resultados avanzan al tratamiento de unidades espaciales en procesos de regionalización.

## **LA REGIÓN DESDE LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA**

La revolución cuantitativa de mediados del siglo XX, generó un cambio paradigmático en la Geografía<sup>1</sup> y en la forma de concebir a las regiones. Basada fuertemente en métodos cuantitativos, esta corriente geográfica propone una metodología de delimitación regional a partir de procedimientos clasificatorios que permiten agrupar unidades espaciales en base a sus valores numéricos. La Geografía Cuantitativa se apoya en la geometría como lenguaje espacial y en la matriz de datos geográfica como sistema

---

<sup>1</sup> El trabajo de Schaefer (1953), se constituye en uno de los primeros aportes que consideran los métodos cuantitativos para el descubrimiento de las leyes que rigen las pautas de distribución espacial (Buzai y Baxendale 2006).

organizador de los datos espaciales, para la construcción de modelos que representan ciertos rasgos de la organización espacial (Buzai y Baxendale 2006). Se considera la noción de *espacio absoluto* y de *espacio relativo*, de acuerdo a Zamorano de Montiel (1994:23):

*"La región es un espacio que tiene una extensión medible, en el cual el hombre se sitúa como un observador imparcial, que analiza las distribuciones, las densidades, y las relaciones entre los diferentes puntos, líneas y áreas. Se mueven dentro de un espacio objetivo.*

*La región solo se considera como tal vinculada con los caracteres que la delimitan o definen en cada caso particular."*

Desde el paradigma cuantitativo se definen dos tipos de regiones: las regiones homogéneas y las regiones funcionales. La primera es producto de métodos de agrupamiento en unidades espaciales areales que se definen a partir de un grado de similaridad en los atributos. La segunda se refiere a la definición de un área central como proveedora de servicios y su alcance espacial como área de influencia (Haggett 1975). Como señala Zamorano de Montiel (1994:24): *"para la corriente locacional las regiones formales, homogéneas o uniformes no se conciben como casos originales y singulares, sino como clases, que son de este modo comparables a escala planetaria"*.

## **LA CLASIFICACIÓN DEL ESPACIO GEOGRÁFICO**

La Geografía, como tantas otras ciencias, realiza clasificaciones a modo de organizar los datos con los que trabaja para el estudio de las distribuciones y asociaciones de problemáticas socioespaciales. De este modo, como ya lo planteaba Harvey (1983:330) hace algunas décadas, *"la clasificación es quizá el procedimiento científico básico mediante el cual imponemos algún orden y coherencia en el enorme flujo de información que percibimos del mundo real"*. Aunque advierte que este aspecto no debe soslayar el interés de la clasificación como un medio para analizar la realidad, es decir, como una herramienta científica que busca satisfacer determinado objetivo bajo un

conjunto de reglas lógicas, como las proporcionadas por la teoría de conjuntos (Haggett 1975; Harvey 1983; Buzai 2003).

Buzai y Baxendale (2006) destacan el papel que ocupa la clasificación espacial en Geografía, ya que se apunta constantemente a captar la diferenciación de áreas sobre la superficie terrestre. *“La clasificación es un procedimiento que permite agrupar entidades en clases que se definen a partir de sus semejanzas en el comportamiento conjunto de los atributos”* (Buzai y Baxendale 2006:266). Cabe remarcar que los procedimientos de clasificación no son una tarea en sí misma, cuyo objetivo sea solo el de organizar datos sino, por el contrario, deben contribuir a un objetivo más amplio, como apoyo a la realización de diagnósticos en el análisis del territorio (Moreno Jiménez 1994). De este modo su aporte fundamental estaría relacionado con la definición de áreas sociales homogéneas, cuyas características sean la base para la realización de propuestas de estrategias de intervención territorial de acuerdo a las particularidades definidas en cada área. Es así como el geógrafo tiene su mayor responsabilidad en la clasificación del espacio geográfico ya que le permite cumplir con uno de los objetivos propios de la disciplina, que es poner en relieve las diferencias territoriales (Sánchez 2007).

## **LA CONSTRUCCIÓN DE REGIONES MEDIANTE MÉTODOS CUANTITATIVOS**

La Geografía Cuantitativa utiliza métodos clasificatorios aplicados a los atributos numéricos con la finalidad de construir regiones geográficas. Como señala Buzai (2003:155), *“el concepto que se encuentra detrás de este procedimiento metodológico es el que considera a la unidad espacial como porción homogénea en la que se puede dividir el espacio geográfico”*<sup>2</sup>.

El proceso de agrupamiento requiere de la definición de las unidades espaciales, la elección de las variables y las mediciones que

---

<sup>2</sup> Se considera que el dato asociado a la unidad espacial es similar dentro de sus límites.

permitirán el tratamiento cuantitativo de la información geográfica (Harvey 1983). De este modo se avanza en la conformación de una matriz de datos de filas (registros) por columnas (observaciones), como sistema organizador de la información que permitirá la aplicación de métodos cuantitativos. A partir de aquí se procede a agrupar las unidades espaciales considerando sus distancias en un espacio  $n$ -dimensional, de modo que sea posible obtener grupos homogéneos, es decir, unidades que se encuentran cerca evidenciando una mayor similitud, y que se diferencian de los grupos que se encuentran más alejados (Haggett 1976). Como señala Harvey (1983:343), "*lo más común es minimizar la varianza intragrupo de las mediciones y maximizar la varianza intergrupo*", con el objetivo, siguiendo a este autor, de que las clases sean lo más heterogéneas entre sí y lo más homogéneas internamente. La distancia entre objetos, en un espacio multidimensional, puede calcularse a través del coeficiente  $r$  de Pearson. Entre los métodos de análisis multivariado más comunes podemos mencionar el método del Valor Índice Medio, el Análisis *Linkage*, Análisis *Cluster* y el Análisis Factorial<sup>3</sup>.

En síntesis, los métodos cuantitativos parten de considerar una gran cantidad de variables y de unidades espaciales y se procede al agrupamiento de ambas en distintas fases. Si bien estos métodos presentan una gran aptitud para la generalización de correspondencias espaciales a medida que se avanza en el proceso de agrupamiento, se debe estar atento ya que también implica una pérdida en la precisión de la información (Haggett 1976)<sup>4</sup>.

La tecnología SIG Vectorial<sup>5</sup>, brinda un excelente entorno geotecnológico para la aplicación de estas metodologías. La

---

<sup>3</sup> La obra de Buzai (2003), constituye un excelente material que brinda aplicaciones de estos métodos para la obtención de mapas sociales urbanos.

<sup>4</sup> Es decir, debemos tener en cuenta en qué fase del agrupamiento se satisface el objetivo de la clasificación, y como señala este autor, "*debemos ser conscientes de su eficiencia relativa*".

<sup>5</sup> El modelo *vectorial* se basa en la posibilidad de representación del espacio geográfico en tres entidades gráficas: puntos, líneas y áreas (polígonos), que constituyen la base de datos gráfica. Los datos asociados a estas entidades se organizan en una base de datos alfanumérica, que pueden ser puntuales, lineales

posibilidad de asociar bases de datos gráficas (cartografía digital) con bases de datos alfanuméricas (atributos), nos permite poner mayor atención al estudio de las manifestaciones espaciales.

## **APLICACIÓN**

La presente aplicación tiene como finalidad realizar un análisis espacial de la situación socio-habitacional de la población de los partidos de la Provincia de Buenos Aires, que evidencie las heterogeneidades espaciales internas en el área de estudio. Las unidades espaciales de análisis corresponden a los 134 partidos que conforman la provincia para el año 2001. La información estadística utilizada proviene del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (INDEC 2001). Se han seleccionado variables que se refieren a los aspectos socio-demográficos, de educación, pobreza, e infraestructura de la vivienda, como aspectos dimensionales que permiten el estudio de la realidad socioespacial a través del análisis de las configuraciones espaciales resultantes (Humacata 2012). En esta oportunidad se pondrá énfasis en detallar los aspectos metodológicos que permiten llegar a los resultados.

### **Método de promedios estandarizados**

La clasificación multivariada en base al método de promedios estandarizados parte de la obtención de los puntajes de variables de beneficio y de costo<sup>6</sup>, mediante los cuales se procede a la generación de cartografía síntesis que resume las situaciones de favorabilidad/desfavorabilidad para cada puntaje de clasificación espacial. El procedimiento de clasificación espacial se realizará

---

o areales (poligonales), por lo que el modelo vectorial permite trabajar desde una perspectiva de base de datos relacionadas.

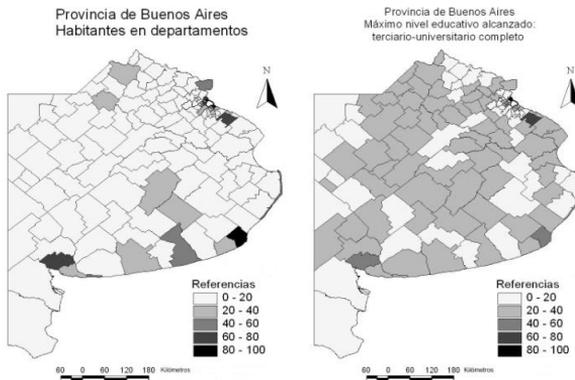
<sup>6</sup> Definimos a las *variables de beneficio* como aquellas que en sus máximos valores expresan una situación de máxima favorabilidad (por ej. Población con Terciario-Universitario completo); por el contrario, las *variables de costo* son aquellas que en sus máximos valores expresan una situación de máxima desfavorabilidad (por ej. Población con NBI).

mediante la estandarización de los valores de cada variable a partir del puntaje omega, para su perfecta comparación con el resto de las variables consideradas<sup>7</sup>.

*Puntaje de variables de beneficio (PVB):*

$$PVB = \frac{x_i - m}{M - m} \times 100$$

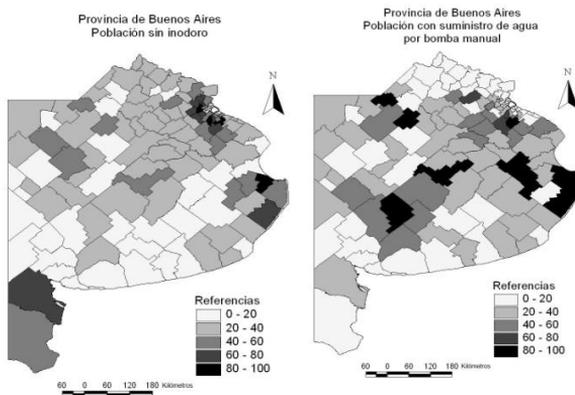
Donde  $x_i$  son los valores de una variable de beneficio,  $m$  el valor menor y  $M$  el valor mayor del conjunto de datos.



*Puntaje de variables de costo (PVC):*

$$PVC = \frac{x_i - m}{M - m} \times 100$$

Donde  $x_i$  son los valores de una variable de costo,  $m$  el valor menor y  $M$  el valor mayor del conjunto de datos.



**Figura 1.** Puntajes a partir del tratamiento de variables de beneficio y de costo. Elaboración del autor.

Para ambos tipos de variables, los puntajes se distribuyen en el rango que va de 0 a 100. Teniendo en cuenta esta amplitud, un

<sup>7</sup> Las variables consideradas relevantes para realizar los cálculos, al presentar la mayor especificidad discriminadora, se obtuvieron de la matriz de datos índice (MDI). De este modo se generó la matriz de variables de beneficio (MVB) y la de variables de costo (MVC).

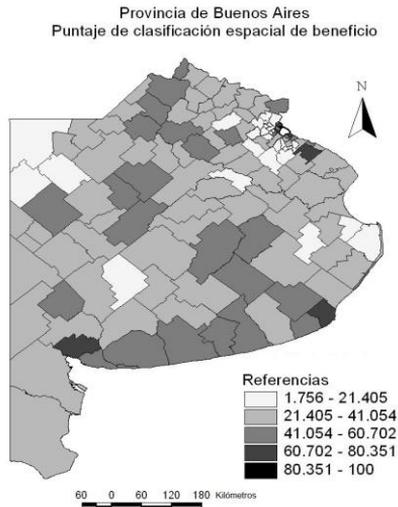
puntaje 0 indica la peor situación en las variables de beneficio y, de manera inversa, en las variables de costo indica la mejor situación. Un puntaje 100 indica la mejor situación para las variables de beneficio y la peor situación en las variables de costo. Los puntajes omega se clasificaron en intervalos iguales, los cuales dividieron el conjunto de valores en cinco intervalos de clase. Las categorías muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto brindan ventajas en la cartografía para su comparación e interpretación.

Los puntajes de clasificación espacial (PCE) son una síntesis de los valores que adquiere cada conjunto de variables de beneficio y de costo en cada unidad espacial, y constituyen uno de los resultados finales del método de promedios estandarizados<sup>8</sup>.

*Puntaje de clasificación espacial de beneficio (PCEB)*

$$PCEB = \sum (PVB) / n$$

Donde  $\sum$  es la sumatoria de los valores en cada variable de beneficio y  $n$  es la cantidad de variables seleccionadas.



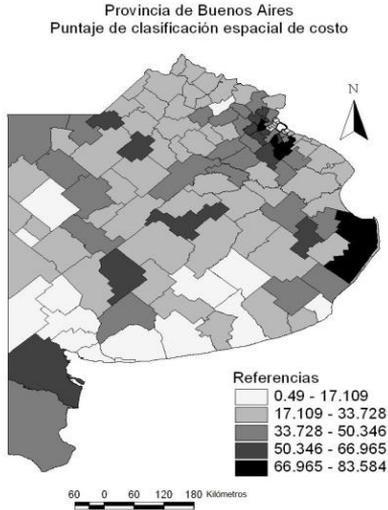
**Figura 2.** Puntaje de clasificación espacial de beneficio (PCEB). Elaboración del autor.

<sup>8</sup> Esta clasificación puede completarse mediante la relación entre ambos tipos de variables (beneficio/costo-inversa) para lograr una clasificación espacial global, existiendo la posibilidad de ponderar los puntajes de variables para llegar a una clasificación espacial según el grado de importancia que cada variable adquiera en la resolución. En un trabajo anterior (Humacata 2012) se avanzó en la síntesis global y la aplicación del método de ponderación por ranking recíproco de Malczewski (1999).

*Puntaje de clasificación espacial de costo (PCEC)*

$$PCEC = \sum (PVC) / n$$

Donde  $\sum$  es la sumatoria de los valores en cada variable de costo y  $n$  es la cantidad de variables seleccionadas.



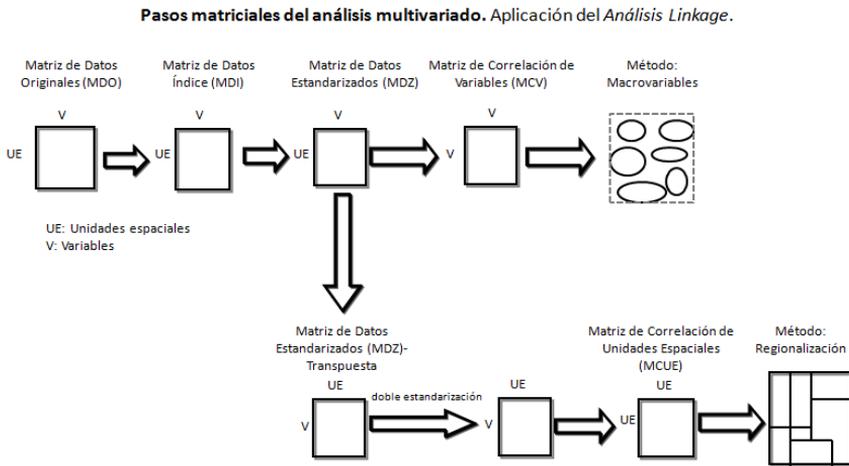
**Figura 3.** Puntaje de clasificación espacial de costo (PCEC). Elaboración del autor.

### **Método de Análisis *Linkage***

La clasificación multivariada a partir del análisis en cadena (Análisis *Linkage*) puede ser aplicada con un doble objetivo, tanto para clasificar las variables, en el que se obtendrán macrovariables, como para clasificar unidades espaciales, constituyéndose las regiones geográficas como síntesis final. Este método parte de un primer tratamiento matricial de la información (MDO-MDI-MDZ), y continúa en una secuencia de pasos matriciales como se sintetiza en la Figura 4.

Un segundo tratamiento matricial de la información, con la finalidad de realizar procedimientos clasificatorios en las variables, consiste en transformar la Matriz de Datos Estandarizados (MDZ) en una Matriz de Correlaciones de Variables (MCV), a partir de la cual se realiza el cálculo de distancias multivariadas (coeficiente  $r$  de Pearson), con lo que queda expresado el grado de asociación entre la totalidad de variables; el método del Análisis *Linkage* permite el agrupamiento de variables con la finalidad de construir

macrovariables, que consisten en grupos de variables clasificadas a partir de los valores de correlación.



**Figura 4.** Pasos matriciales del análisis multivariado (Análisis *Linkage*).  
Elaboración del autor.

A partir de un tercer tratamiento matricial de la información, con la finalidad de obtener una regionalización, se debe transponer la MDZ; en este caso, las variables ocupan el lugar de las filas y las unidades espaciales el lugar de las columnas<sup>9</sup>. A partir de aquí se debe realizar una nueva estandarización de los datos en el sentido de las unidades espaciales. Como resultado se obtiene la Matriz de Correlaciones de Unidades Espaciales (MCUE); en base a esta matriz pueden aplicarse los procedimientos clasificatorios de regionalización.

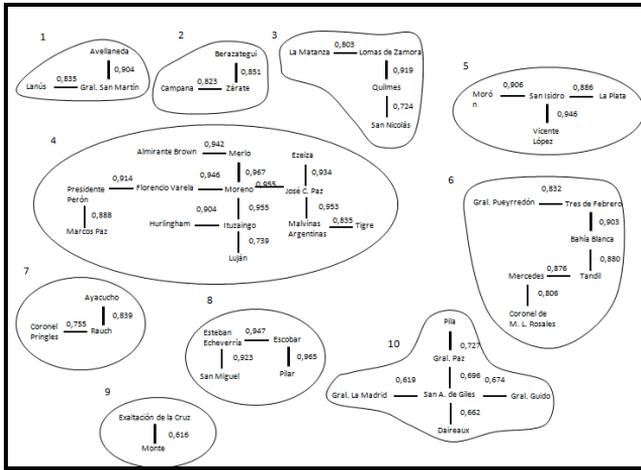
En una primera instancia se definen las máximas correlaciones que se encuentran en la MCUE de 134 x 134, para luego obtener los pares recíprocos de unidades espaciales. De esta manera se procede

<sup>9</sup> De esta manera queda conformada la Matriz de Datos Geográfica (propuesta por Berry 1964), como sistema de organización de la información geográfica que privilegia el tratamiento de datos en el sentido de las unidades espaciales (Buzai y Baxendale 2006).

al agrupamiento de unidades espaciales en la conformación de 27 áreas surgidas de la correlación conjunta de los valores de los 134 partidos del área de estudio.

Áreas	Unidades espaciales (Partidos)	Correlación
A_1	Avellaneda - Gral. San Martín	0,904
A_2	Berazategui - Zárate	0,851
A_3	Lomas de Zamora - Quilmes	0,919
A_4	Merlo - Moreno	0,967
A_5	San Isidro - Vicente López	0,946
A_6	Tres de Febrero - Bahía Blanca	0,903
A_7	Ayacucho - Rauch	0,839
A_8	Escobar - Pilar	0,965
A_9	Exaltación de la Cruz - Monte	0,616
A_10	General Paz - Pila	0,727
A_11	General Villegas - Rivadavia	0,911
A_12	Junín - Pergamino	0,878
A_13	9 de Julio - Rojas	0,897
A_14	Patagones - Villarino	0,867
A_15	Pinamar - Villa Gesell	0,877
A_16	Puán - Tres Lomas	0,850
A_17	Ramallo - San Pedro	0,695
A_18	Las Flores - Saladillo	0,855
A_19	Carlos Casares - Lobería	0,800
A_20	General Pinto - Guaminí	0,786
A_21	General Rodríguez - San Vicente	0,899
A_22	General Viamonte - Tapalqué	0,814
A_23	Navarro - Suipacha	0,676
A_24	General Belgrano - Lobos	0,749
A_25	Punta Indio - Tornquist	0,720
A_26	Berisso - Ensenada	0,909
A_27	General Alvear - Magdalena	0,838

**Figura 5.** Determinación de los pares recíprocos de unidades espaciales.

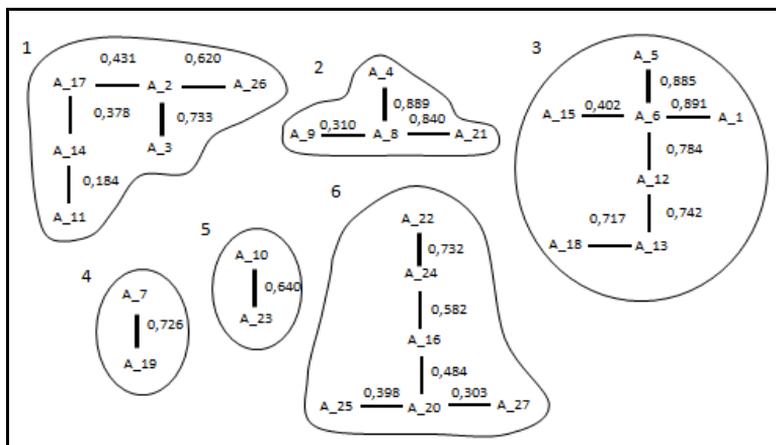


**Figura 6.** Gráfico de agrupamiento. Primer agrupamiento: 27 áreas surgidas de 134 unidades espaciales. En líneas más gruesas se indican las relaciones más intensas de cada grupo, y se vinculan internamente con otras unidades de menor intensidad (Recorte: 10/27 áreas).

En una segunda aplicación del método se pueden correlacionar las 27 áreas, con el objetivo de obtener el grado de asociación entre estas áreas mediante un nuevo proceso de agrupamiento. Para ello, se parte de la matriz de correlaciones entre áreas, que mediante la aplicación del método de regionalización permite llegar a la definición de zonas socio-habitacionales. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Zonas	Áreas	Correlación
1	A-2 - A-3	0,733
2	A-4 - A-8	0,889
3	A-5 - A-6	0,885
4	A-7 - A-19	0,726
5	A-10 - A-23	0,640
6	A-22 - A-24	0,732

**Figura 7.** Determinación de los pares recíprocos de áreas.

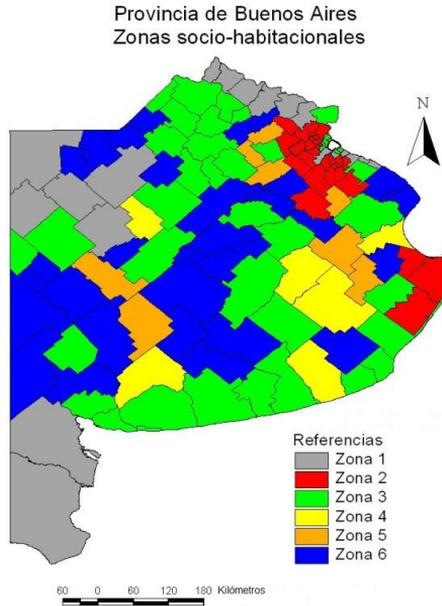


**Figura 8.** Agrupamiento de unidades espaciales. Resultado: 6 zonas de 27 áreas.

En base a Buzai (2003), podemos sintetizar los pasos técnicos del método de agrupamiento (Análisis *Linkage* sin contigüidad espacial):

- 1- Se define si el objetivo es agrupar variables o unidades espaciales. Se utiliza de este modo la MCV o MCUE.
- 2- Determinar los valores máximos de correlación para cada columna de la matriz.
- 3-Buscar a qué par de variables o unidades espaciales corresponden estas máximas correlaciones. Realizar un listado donde se exprese el vínculo de estas unidades y su correspondiente coeficiente de correlación.
- 4-Determinar los pares recíprocos. Entre qué unidades se producen las máximas correlaciones de forma bidireccional.
- 5-Realizar el listado de pares recíprocos.
- 6-Agrupar los pares recíprocos en orden y unir el resto de las variables.
- 7-Obtener la matriz de especificidad de  $n \times m$  (variables o unidades espaciales por grupo). Se puede encontrar la especificidad de cada grupo mediante el método simple que consiste en promediar los valores del núcleo.

8-El procedimiento finaliza con la obtención de macrovariables y regiones geográficas.



**Figura 9.** Regionalización (Zonas). Elaboración del autor.

## CONSIDERACIONES FINALES

Desde la Geografía Aplicada, basada en el uso de los Sistemas de Información Geográfica, se revalorizan los aspectos conceptuales y metodológicos de la Geografía Cuantitativa, para los procedimientos de construcción regional, reconociendo un claro *enfoque espacial*, centrado en el estudio de las localizaciones, distribuciones espaciales, asociaciones espaciales, interacciones espaciales y evoluciones espaciales, generando conocimientos que pueden ser aplicados a la resolución de problemáticas socioespaciales, cumpliendo un importante papel en el ordenamiento territorial. La aplicación de técnicas de estadística espacial, entre las cuales se encuentran las propias del Análisis Multivariado, tienen la finalidad

de obtener clasificaciones socioespaciales, a modo de descubrir las heterogeneidades espaciales internas del área de estudio, donde los procedimientos metodológicos del Análisis *Linkage* contribuyeron a la definición de la estructura socioespacial. La regionalización obtenida podrá brindar una clara orientación de las regiones socio-habitacionales con prioridad de intervención con la finalidad de lograr disminuir disparidades y contribuir a mejorar la justicia espacial en el área de estudio.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se convierte en una herramienta de apoyo fundamental al permitir el tratamiento cuantitativo de la información alfanumérica y la posibilidad de construir una amplia variedad de cartografía temática, fundamental para el análisis de las distribuciones y asociaciones espaciales.

Desde una perspectiva sistémica, se considera a la región como un sistema complejo (García 2006), donde los aportes desarrollados por las distintas concepciones de la Geografía pueden articularse para realizar estudios más completos a través del abordaje interdisciplinario. El análisis espacial con SIG permite generar aportes significativos vinculados a las manifestaciones espaciales, como los procedimientos de clasificación espacial, que tienen una clara finalidad en la construcción de modelos territoriales, como instrumentos para actuar en la realidad concreta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Buzai, G.D. 2003. *Mapas sociales urbanos*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. (Ed.) 2010. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica. Aspectos conceptuales y metodológicos*. Universidad Nacional de Luján. Luján.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2002. La construcción de regiones mediante técnicas geográficas cuantitativas. *Gerencia Ambiental*. 9(84):276-282.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2006. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- García, R. 2006. *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Editorial Gedisa. Barcelona.
- Haggett, P. 1975. *Análisis locacional en la Geografía Humana*. Gili. Barcelona.
- Harvey, D. 1983. *Teorías, Leyes y Modelos en Geografía*. Alianza. Madrid.
- Humacata, L. 2012. Análisis multivariado de la situación socio-habitacional de la Provincia de Buenos Aires, en el año 2001. Aplicación de técnicas de estadística espacial con SIG para la determinación de áreas socio-habitacionales. Tesis de Licenciatura inédita. Universidad Nacional de Luján.
- Moreno Jiménez, A. 1994. Clasificación multivariante. En: J. Bosque Sendra y A. Moreno Jiménez, *Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos*. Oikos-tau. Barcelona.
- Rey Balmaceda, R.C. 1992. *Geografía Regional. Teoría y Aplicación*. Estrada. Buenos Aires.
- Sánchez, D. 2007. Contribución del análisis espacial a la ciencia y a la geografía: El caso de los métodos clasificatorios. Tesis Doctoral inédita, Facultad de Filosofía, Historia y Letras, Universidad del Salvador.
- Zamorano de Montiel, G. 1994. *Geografía Regional. Paisajes y clasificaciones*. Cincel. San Isidro.



# LOS MÉTODOS DE AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL PARA LA REGIONALIZACIÓN INTRAURBANA

*Patricia Iris Lucero*

EL estudio de Autocorrelación Espacial (en adelante AE) brinda la posibilidad de observar el comportamiento de las unidades espaciales vecinas en una perspectiva corológica u horizontal. A través de esta técnica se profundiza en el principio de asociación espacial que responde a la cuestión siguiente: ¿qué tipo de relación existe entre “A” y “B”? De tal manera, se pueden realizar estudios de semejanza/diferencia entre los distintos atributos medidos en las unidades espaciales, el mismo atributo en cuanto a su comportamiento de difusión o diferentes atributos en relación de contigüidad. Mediante correlaciones o autocorrelaciones se establecen niveles de similitud. Las unidades espaciales que tienen alta correlación entre sí forman una región.

La asociación de las variables entre las unidades espaciales vecinas tiene el propósito dirigido centralmente a mostrar la magnitud de las disparidades espaciales a partir de la correlación de variables referidas a zonas contiguas. Para tal fin se emplean distintas medidas incluidas en el estudio de la AE, cuyas técnicas vienen evolucionando debido al particular interés por reconocer este fenómeno en su mayor hondura posible, ya que se vislumbra como un fundamento propio de las estructuras geográficas, y por tanto, diferencial sobre el objeto de estudio de otras ciencias sociales (Lucero y Celemín 2008).

En acuerdo con las reflexiones de David Harvey (1979), coincidimos en afirmar que el lenguaje sustancial de las disciplinas implicadas en el campo de las ciencias sociales, incluyendo a la sociología, economía, política, antropología, psicología, cultura, entre otras, logra contacto con la realidad en el momento en que sus categorías teóricas se reflejan en lugares y tiempos determinados. La Geografía, como ciencia netamente humana, se erige entonces en la encargada de aportar el lenguaje espacio-temporal necesario con el

fin de interrelacionar la esfera del análisis sustancial con la esfera del análisis empírico que se concreta en el espacio geográfico.

De tal manera que el examen de AE está especialmente destinado a comprobar la forma en que los hechos humanos se reparten sobre la corteza terrestre desde el lenguaje espacio-temporal, particularmente en fenómenos de propagación y en aspectos con un fuerte componente social, puesto que la ocupación del espacio para residencia de la población suele aparecer de un modo fuertemente diferenciado o segregado (Gamir Orueta et al. 1995; Buzai 2003 y 2014; Buzai y Baxendale 2004, 2006 y 2011; Lucero y Celemín 2008; Celemín 2009).

En el análisis de contacto entre áreas, la comprobación de una mutua dependencia que vincula a las zonas contiguas sería la vía útil para acceder a una forma espacial determinada, que tiende a permanecer en el tiempo y, en cierto sentido, a condicionar el devenir de los procesos sociales plasmados en el territorio. 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 (Buzai y Baxendale 2004; Vilalta y Perdomo 2005).

Sobre estas ideas generales, la presente propuesta trata la diferenciación socio-espacial en el interior de la ciudad con los métodos desarrollados a partir de la autocorrelación entre unidades de observación definidas territorialmente y que comparten sus límites aunque sea en un punto común. El universo de análisis está conformado por el área urbana de la aglomeración de Mar del Plata, localidad que alberga más de 600.000 habitantes permanentes, constituida por 837 radios censales de acuerdo a los datos del relevamiento nacional del año 2010, y que representan el recorte otorgado al cúmulo de unidades de observación para nuestro caso particular de estudio. El indicador seleccionado responde a un atributo que se reitera en variados estudios referidos a la distribución espacial de los grupos en función de su estatus socio-económico, y consiste en estimar la incidencia de los jefes de hogar con nivel de instrucción superior en cada unidad espacial. Con la aplicación de los métodos de autocorrelación espacial se espera lograr una regionalización intraurbana que refleje el aglutinamiento territorial de los hogares según la prevalencia del grado de

educación universitario y superior alcanzado por los jefes de hogar, y desde allí, reconocer a los vecinos cercanos en su similitud o disimilitud de este atributo señalador de la inserción en la estructura social.

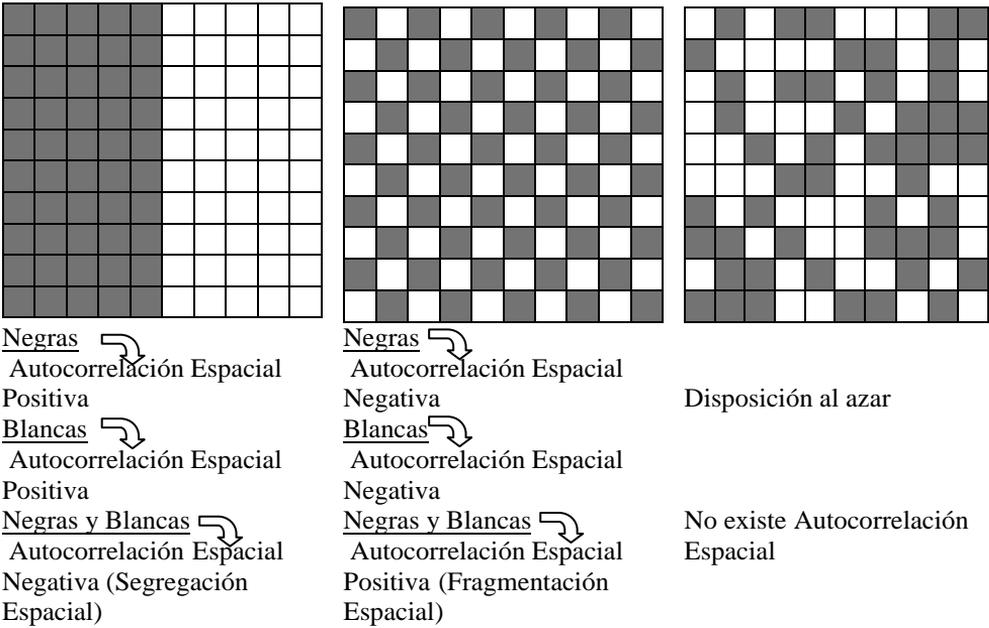
## **ASPECTOS CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS**

El concepto de autocorrelación espacial parte del principio de Tobler que plantea que en el espacio geográfico “todas las cosas están relacionadas, pero las cercanas están más relacionadas que las distantes” (1970:236). Este postulado es la base teórica fundamental sobre la que se sustenta la AE. Para un geógrafo es imposible imaginar un mundo sin AE, no existirían las regiones dado que la variación de todo tipo de fenómenos tendría que ocurrir independientemente de la ubicación (Goodchild 1986).

Por tanto, se intenta medir la correlación que una misma variable tiene en diferentes unidades espaciales contiguas en una perspectiva horizontal dando lugar a una de estas tres posibilidades:

1. Autocorrelación espacial positiva: las unidades espaciales vecinas presentan valores próximos. Indica una tendencia al agrupamiento de las unidades espaciales.
2. Autocorrelación espacial negativa: las unidades espaciales vecinas presentan valores muy disímiles. Indica una tendencia a la dispersión de las unidades espaciales.
3. Sin autocorrelación espacial: no ocurre ninguna de las dos situaciones anteriores. Por tanto, los valores de las unidades espaciales vecinas presentan cuantías producidas en forma aleatoria.

Esta técnica, para averiguar si un conjunto de áreas se reparte o no de forma aleatoria, trata de determinar si existe o no independencia de las distribuciones espaciales. Los esquemas de la Figura 1 muestran las posibilidades de correlación combinada entre unidades vecinas.



**Figura 1.** Distribuciones corológicas de las unidades espaciales en el análisis de autocorrelación espacial. Elaboración personal a partir de Gámir Orueta *et al.* 1995:215.

La colección de técnicas que contiene el estudio de AE lidia con las peculiaridades causadas por el espacio en el análisis estadístico de los modelos de la ciencia regional (Anselin 1999). Entre las técnicas encontramos algunas orientadas a procedimientos que indican los valores generales y otras que proveen el análisis local<sup>1</sup>.

Los 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*). La distancia entre objetos se calcula a través del coeficiente “r” de Pearson que cuantifica el comportamiento conjunto entre dos series de datos (variación

<sup>1</sup> El análisis de autocorrelación espacial se ve facilitado por el programa GeoDa que contiene una sencilla interfase visual e interactiva. Desarrollado por la Universidad de Illinois, se trata de un producto gratuito, de libre acceso.

conjunta y grado de semejanza entre dos temas). Se examina a partir de la realización del gráfico de dispersión para dos variables que se incorporan en cada uno de los ejes ortogonales ( $90^\circ$ ) "x-y". Estos procedimientos avanzan decididamente hacia el análisis cuantitativo, ya que en este caso específico se puede identificar la forma gráfica como paso previo al resultado de correlación numérica que representa (Buzai 2014)<sup>2</sup>.

El grado de contigüidad espacial entre unidades territoriales con características similares se mide con el índice de autocorrelación espacial de Moran (I). Este índice evalúa la existencia de conglomerados en la distribución espacial de una variable, y puede ser aplicado para el cálculo de una medida general (Global) o de forma localizada para cada unidad espacial (Local). El Índice de Moran Global constituye un estadístico resumen del grado de AE y sintetiza en un coeficiente —la pendiente de la recta de regresión— el grado de asociación entre un nivel dado en la variable de interés en un área geográfica respecto del promedio ponderado de la misma variable en las áreas contiguas o vecinas. Sus valores oscilan entre -1 y 1, es decir, desde una autocorrelación negativa perfecta (perfecta dispersión) a una autocorrelación positiva perfecta (perfecta concentración), donde el valor 0 (cero) significa un patrón espacial completamente aleatorio.

Una cuestión a considerar y determinar para este tipo de análisis, refiere al criterio que se puede asumir para la definición de la condición de contigüidad entre dos unidades espaciales, es decir, cómo se resuelve el problema de identificar quiénes son los vecinos para cada una de las unidades de observación. Las tres formas más utilizadas para que el programa seleccione las unidades próximas en la matriz de datos espaciales, y que fueron aplicadas en la mayoría de los estudios de AE, parte de la figura del tablero de ajedrez con la forma de cuadrícula en la distribución de las unidades de observación y el movimiento de sus piezas de juego. Entonces podemos encontrar las siguientes modalidades: 1) contigüidad tipo

---

<sup>2</sup> Existen otras maneras de medir la proximidad entre los valores de unidades espaciales vecinas, por ejemplo la distancia euclídea, esférica, de Manhattan, o cualquier distancia definida por el usuario. En la presente aplicación se empleará la medida del coeficiente de Pearson.

'Rook' (la Torre), que considera los cuatro elementos que comparten bordes con la unidad central; 2) contigüidad tipo 'Queen' (la Reina), cuando agrega las unidades que comparten vértices en la cuadrícula; y 3) contigüidad tipo 'Bishop' (el Alfil), que toma en cuenta solamente los vecinos que se tocan por el vértice. En el presente estudio dos unidades espaciales se consideraron vecinas si comparten al menos un borde o punto en común, aplicando el criterio de contigüidad Queen de primer orden<sup>3</sup>.

Sin embargo, este indicador, como cualquier otro índice global de autocorrelación espacial, "no es capaz de detectar la inestabilidad o deriva espacial de ciertas estructuras locales de asociación o inestabilidades locales que pueden estar, a su vez, presentes o no en una estructura global de dependencia" (Chasco Yrigoyen 2003:71, citado por Molinatti 2013:1290). En cambio, aquellas medidas desarrolladas desde una perspectiva local, como la versión local del Índice de Moran (LISA, *Local Indicators of Spatial Association*), permiten explorar visualmente los patrones de aglomeración formados en función de los valores de una variable que presentan las unidades de observación analizadas y las unidades vecinas. Estos indicadores posibilitan la identificación de agrupamientos territoriales según el grado de significación estadística, clasificando las localizaciones en: no significativas y significativas al 0,1 %, al 1 % y al 5 %. Asimismo, permite la categorización de las diferentes áreas geográficas, con agrupamientos territoriales estadísticamente significativos, en cuatro grupos: Alto-Alto, Bajo-Bajo, Alto-Bajo y Bajo-Alto (Anselin 1993).

En el primer aspecto señalado, para definir si una autocorrelación espacial es significativa se realiza un test de hipótesis nula, y así se puede comprobar si la configuración espacial de la variable se produce aleatoriamente, es decir, si se cumplen o no los supuestos del modelo a partir de estimar si un estadístico muestral difiere significativamente de lo esperado aleatoriamente. Esta prueba se efectúa al ubicar el coeficiente de Moran dentro de una curva normal de probabilidades (Vilalta y Perdomo 2005; Buzai y Baxendale 2004

---

<sup>3</sup> La autocorrelación espacial puede ser definida a un orden mayor cuando también se consideran los vecinos más alejados o que se localizan a cierta distancia.

y 2006). El procedimiento se conoce como “randomization” o de aleatorización donde los datos de las unidades espaciales se intercambian (permutan) al azar obteniéndose diferentes valores de autocorrelación que se comparan con el producido en la distribución real. Por tanto, el nivel de significancia indica la probabilidad de rechazar la hipótesis nula siendo ésta verdadera, es decir, es la mayor probabilidad que se está dispuesto a arriesgar a cometer un error de decisión de aceptar la hipótesis alternativa (Buzai y Baxendale 2004).

Asimismo, el “p-valor” es el resultado que nos brinda el test de hipótesis. Si el nivel de significancia es superior al “p-valor”, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa. Por el contrario, se comprueba la hipótesis nula, es decir, que la configuración espacial se produce de forma aleatoria.

Como resultado se obtienen dos mapas. El primero es el conocido como “cluster o de agrupamiento”, donde cada unidad espacial se diferencia de acuerdo al tipo de autocorrelación espacial que posee en relación a sus unidades espaciales vecinas. El segundo indica el “nivel de significancia” que presenta a las unidades con I de Moran relevantes en base a su relación de contigüidad a partir del procedimiento de aleatorización (Buzai y Baxendale 2006).

La autocorrelación espacial puede ser univariada o bivariada. En un gráfico de dispersión, en el eje “x” aparecen los valores estandarizados<sup>4</sup> de una variable para cada unidad espacial y en el eje “y” se encuentran los valores estandarizados del promedio de los valores de las unidades espaciales vecinas para la misma variable (en el caso de la AE univariada) o de una segunda variable (AE bivariada). En ambos casos, la recta de regresión lineal muestra el grado de asociación entre la variable y los valores contiguos de la misma u otra variable considerada (Buzai y Baxendale 2004 y 2006).

Por último, es importante destacar que la existencia y el reconocimiento de la autocorrelación espacial (y de la dependencia espacial) nos ubica en el lado opuesto al principio básico de la teoría

---

<sup>4</sup> El criterio de estandarización seleccionado es el de los “puntajes zeta”, cuyo tratamiento convierte los valores originales de distribución de la variable en sus correspondientes valores normalizados en función de dos parámetros: la medida promedio y el desvío estándar de la serie de datos.

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. Debido a esta característica, inicialmente se consideraba a la AE 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, citado por Celemín 2009:105).

En palabras de Estebanez Álvarez y Bradshaw, “el punto más crítico de todos es el hecho de que la mayoría de los datos ‘geográficos’ o espaciales, no son independientes, sino que son ‘espacialmente autocorrelacionados’”, agregando a continuación que “por autocorrelación espacial se indica que si una unidad territorial tiene una característica determinada, existe una elevada probabilidad de que las unidades territoriales próximas presenten también esta característica” (1978:201).

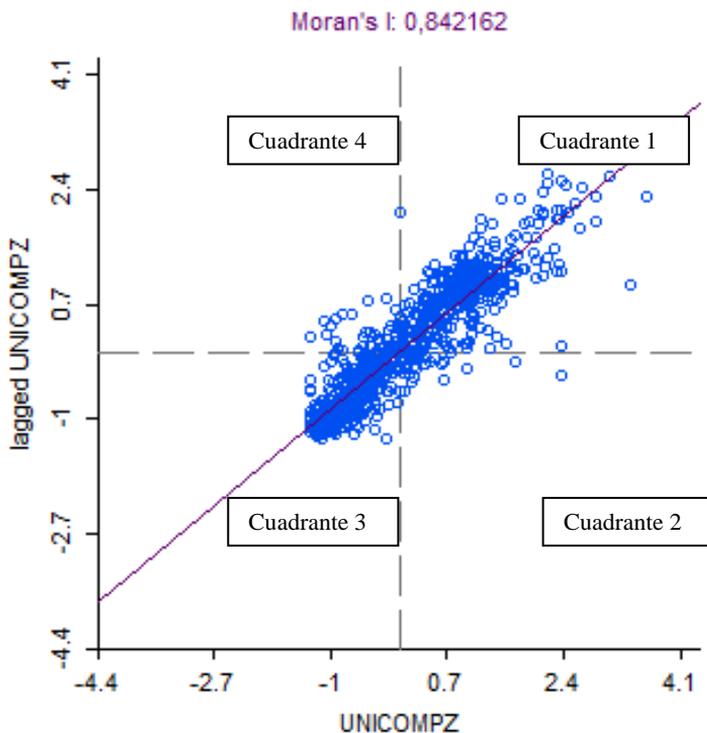
## **RESULTADOS**

A partir de la aplicación de los métodos incorporados en la Autocorrelación Espacial al recorte urbano de Mar del Plata y considerando el indicador seleccionado, la incidencia del Nivel de Instrucción Superior de los Jefes de Hogar en cada una de las unidades de observación, se apunta a responder a dos cuestiones principales, a saber: 1) ¿La distribución espacial de esta variable se produce de forma aleatoria o se presenta cierta correlación entre las unidades vecinas? y 2) ¿Cuál es la configuración espacial resultante en el análisis local en función del grado de significancia que presentan las relaciones de autocorrelación?

### *Respuesta 1:*

El diagrama de dispersión que se conforma a partir de la asociación entre la variable UNICOMPZ (porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Universitario Completo en puntajes Z) y la misma variable como promedio de las unidades vecinas a

cada observación, referenciada en el eje correspondiente como laggedUNICOMPZ, permite apreciar la alta correlación estadística resultante y de signo positivo, con un I de Moran = 0,84 (Figura 2).



**Figura 2.** Autocorrelación Espacial del Porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Superior según radios censales, Mar del Plata, 2010. Diagrama de dispersión. Elaboración personal a partir de la base de datos del CNPhyV 2010 y bajo la plataforma Geoda.

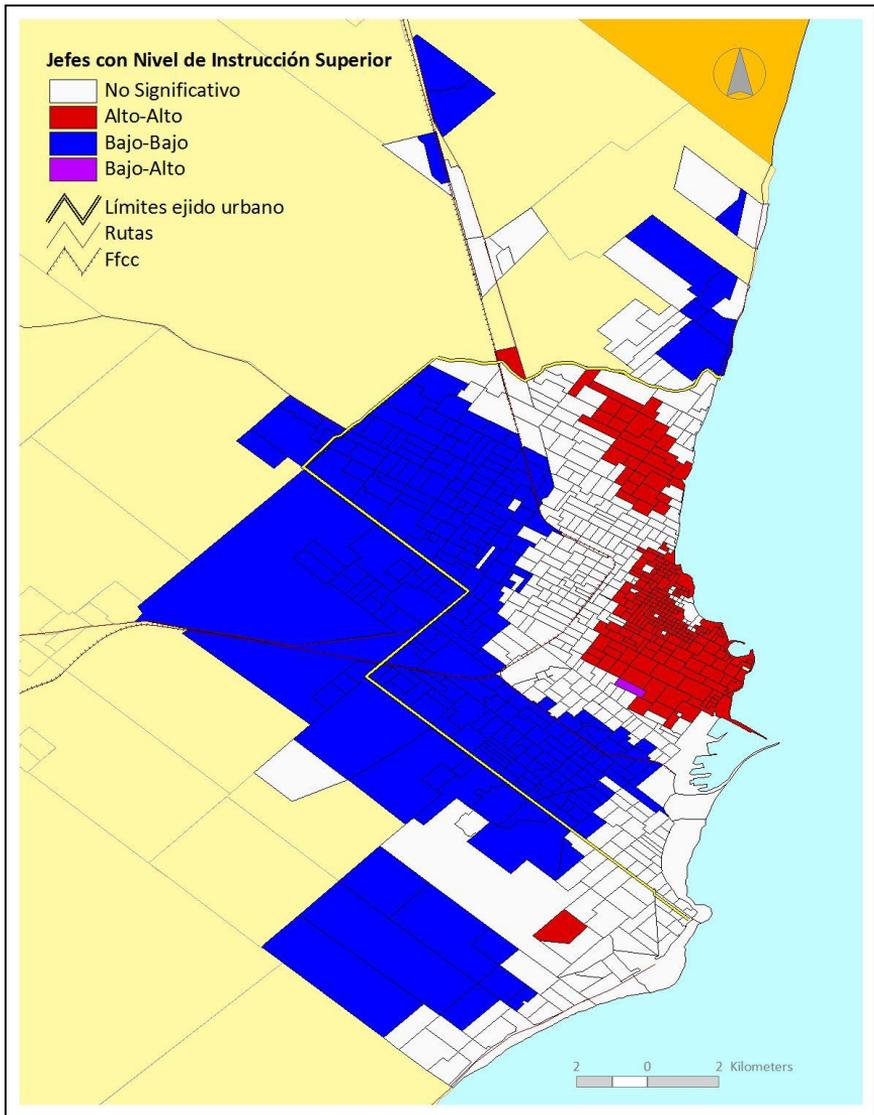
Por tanto, el resultado demuestra una fuerza directa entre las unidades espaciales vecinas, denotando el agrupamiento de las áreas con mayor incidencia de los jefes de hogar con alto nivel educativo, y su distanciamiento y conformación de un sector de concentración opuesto en el diagrama para las unidades de observación con baja incidencia de la jefatura de hogar con grado de instrucción superior entre los recortes contiguos.

Los cuatro cuadrantes de la Figura 2 representan gráficamente estos diferenciales en los resultados de la autocorrelación: el cuadrante 1, de valores positivos en ambos ejes, dibuja una nube de puntos intensa en la vinculación Alto-Alto; el cuadrante 3, de valores negativos en ambos ejes, también exhibe un cúmulo importante de unidades espaciales en la articulación Bajo-Bajo; el cuadrante 2, de valores positivos para el eje horizontal y negativos para el eje vertical correspondiente a las unidades vecinas, identifica a una menor cantidad de unidades espaciales, de la misma manera que se muestra en el cuadrante 4, con valores positivos en el eje de la ordenada y negativos en el eje de las abscisas, demostrando la situación de algunas zonas donde la mezcla heterogénea de las unidades en función de la variable seleccionada deja ver las áreas sujetas a un proceso de definición de sus patrones específicos de distribución, como si se tratara de una zona de traslapo en medio de dos áreas de alta autocorrelación espacial positiva.

### *Respuesta 2:*

El diagrama de dispersión permitió identificar el signo de la autocorrelación espacial entre las observaciones en todos los cuadrantes del diagrama de dispersión, donde es posible reconocer tanto homogeneidad como heterogeneidad espacial. La heterogeneidad se muestra cuando hay presencia en los cuatro sectores del diagrama de dispersión. La configuración espacial de tales resultados se exhibe en la Figura 3.

Estas medidas desarrolladas desde una perspectiva local, como la versión cartografiada del Índice de Moran (LISA, Local Indicators of Spatial Association), hace posible explorar visualmente los patrones de aglomeración formados en función de los valores de una variable que presentan las unidades de observación analizadas y las unidades vecinas. De tal manera, la Figura 3 demuestra que las estructuras de vecindades mantienen la autocorrelación espacial positiva en la mayor proporción de unidades, tanto en los cuadrantes Alto-Alto como Bajo-Bajo, mientras que ambos sectores presentan una autocorrelación espacial negativa entre sí. Por su parte, la menor cantidad de entidades de observación que se registran en los cuadrantes Alto-Bajo y Bajo-Alto, particularmente indicativos de la



**Figura 3.** Autocorrelación Espacial del Porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Superior según radios censales, Mar del Plata, 2010. LISA Cluster Map. Fuente: Elaboración de la autora a partir de la base de datos del CNPHYV 2010, bajo la plataforma Geoda y procesamiento con SIG.

heterogeneidad espacial, corresponderían a las áreas donde la autocorrelación espacial negativa se halla entre las unidades vecinas, aunque los valores del I de Moran local son muy bajos, cercanos a los valores de la distribución al azar.

En este último sentido, es importante destacar que el método desagrega la medida global en los cuatro cuadrantes, pero adiciona una quinta categoría de valores cercanos al cero indicando la falta de correlación significativa. Las estadísticas generales de ese análisis se presentan en la Figura 4.

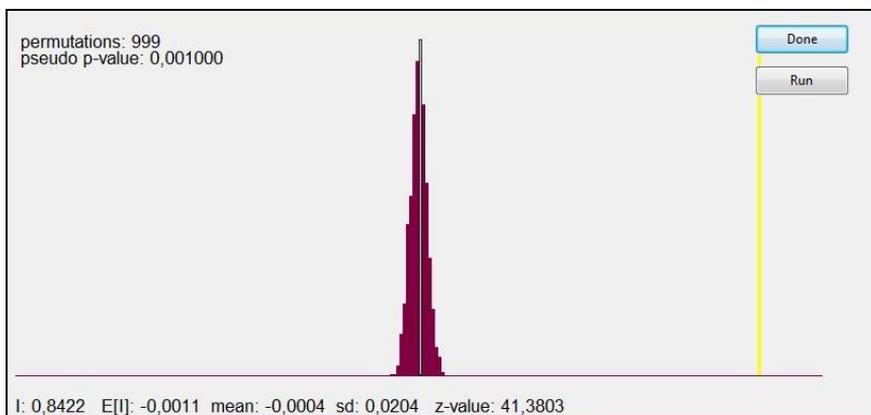
	Radios censales	Total de Jefes de Hogar	Jefes de Hogar con Nivel Educativo Superior			
			Media	Máximo	Mínimo	Desvío Estándar
<b>No Significativo</b>	334	76.864	17,78 %	63,64 %	0,00 %	8,68 %
<b>Alto-Alto</b>	245	49.473	34,26 %	66,67 %	18,82 %	7,64 %
<b>Bajo-Bajo</b>	257	75.834	4,24 %	17,20 %	0,00 %	2,95 %
<b>Bajo-Alto</b>	1	311	15,11 %	15,11 %	0,00 %	0,00 %
<b>Totales</b>	837	202.482	18,45 %	66,67 %	0,00 %	13,61 %

**Figura 4.** Autocorrelación Espacial del Porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Superior según radios censales, Mar del Plata, 2010. LISA Cluster, principales estadísticas. Fuente: Elaboración de la autora a partir de la base de datos del CNPhyV 2010 y consultas del procesamiento con SIG.

En general, la configuración espacial contiene un área de prevalencia de los jefes de hogar con nivel de instrucción alto como estructura de vecindad en dos bloques sobre el anillo central de la ciudad e inmediatamente hacia el sector norte, y dos parcialidades por fuera del ejido urbano. Por su parte, las áreas con tendencia contrapuesta entre las unidades próximas, en las que domina la baja frecuencia del grado de educación alto entre los jefes de hogar, conforma un anillo envolvente extendido dentro y fuera de los bordes del ejido urbano. Las áreas más heterogéneas se localizan en la frontera entre las zonas de evidente autocorrelación espacial

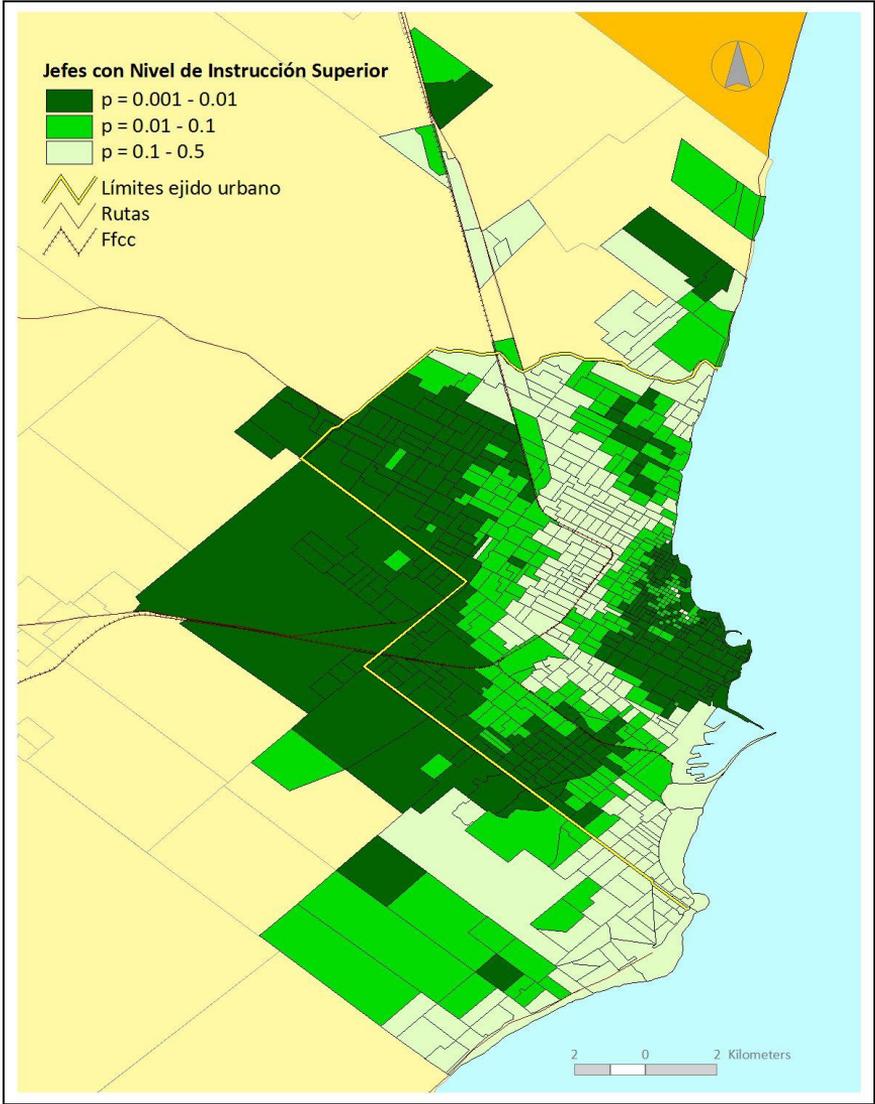
positiva, construyendo un anillo transicional de asociación negativa entre las entidades de observación. En este campo blanco se destaca un radio censal de Bajo nivel de instrucción de los jefes de hogar rodeado por vecinos de Alto promedio educativo, correspondiente al territorio de emplazamiento de la Villa de Paso, actualmente en vías de relocalización. Los principales parámetros estadísticos que dan cuenta de esta configuración espacial se encuentran en la Figura 4.

El test de hipótesis practicado para el estudio certifica la existencia de patrones de distribución de la variable seleccionada bien definidos. Los resultados se observan en la Figura 5. Para este caso particular se establecieron las siguientes especificaciones: 999 permutaciones y nivel de significancia del 5%. El p-valor es inferior y se aleja mucho del nivel de significancia acordado, por tanto, la configuración espacial no es aleatoria.



**Figura 5.** Autocorrelación Espacial del Porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Superior según radios censales, Mar del Plata, 2010. Randomization. Fuente: Elaboración de la autora a partir de la base de datos del CNPhyV 2010 y bajo la plataforma GeoDA.

También podemos disponer de los patrones espaciales caracterizados a partir de la prueba de hipótesis para verificar la fortaleza de las interpretaciones estadísticamente fundamentadas. El mapa de significancia de la Figura 6 muestra la probabilidad de que las relaciones de contigüidad entre los radios censales se produzcan de forma aleatoria.



**Figura 6.** Autocorrelación Espacial del Porcentaje de Jefes de Hogar con Nivel de Instrucción Superior según radios censales, Mar del Plata, 2010. LISA Significance Map. Elaboración de la autora a partir de la base de datos del CNPhyV 2010, bajo la plataforma GeoDA y procesamiento con SIG.

Para el análisis de autocorrelación espacial local del porcentaje de jefes de hogar con nivel de instrucción superior han quedado registradas tres categorías al examinar los resultados del test de hipótesis. Las menores probabilidades de que las relaciones sucedan de manera azarosa se encuentran, mayoritariamente, en los sectores correspondientes a los clústeres Alto-Alto y Bajo-Bajo. La amplia zona de transición cuya correlación espacial no es significativa ya que supera el nivel aceptado como riesgo para la definición de la asociación entre las unidades de observación, implican los espacios en transformación. De esta manera, encontramos otra lectura estadística que refuerza las interpretaciones realizadas sobre la configuración espacial univariada al interior de la ciudad, al partir del intercambio de muestras aleatorias que juegan con las distribuciones de las unidades espaciales vecinas.

La aplicación de los métodos de autocorrelación espacial demuestra así la potencialidad que conllevan para reconocer la regionalización intraurbana y de cualquier otra escala geográfica.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Anselin, L. 1993. The Moran Scatterplot as an ESDA tool to asses instability in local association. *GISDATA. Meeting on Gis and Spatial Analysis*. The Netherlands.
- Anselin, L. 1999. The Future of Spatial Analysis in the Social Sciences. *Geographic Information Sciencies* 5(2): 67-76.
- Anselin, L., I. Syabri y Y. Kho. 2006. GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographcal Analysis* 5-22.
- Bosque Sendra, J. y A. Moreno Jiménez. 1994. *Prácticas de análisis exploratorio y multivariante de datos*. Oikos-tau. Barcelona.
- Buzai, G.D. 2014. *Mapas Sociales Urbanos*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2006. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Lugar Editorial. Buenos Aires.
- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2011. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica. Perspectiva científica*. Tomos 1 y 2. Lugar Editorial. Buenos Aires.

- Buzai, G.D. y C.A. Baxendale. 2004. Autocorrelación espacial univariada y bivariada. Aspectos socio-educativos en la ciudad de Luján. *Anuario de la División Geografía 2004*: 167-180. Departamento de Ciencias Sociales – UNLu. Luján.
- Celemín, J. P. 2009. Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial. Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía* 18(1): 11-31.
- Estebanez Álvarez, J. y R.P. Bradshaw. 1978. *Técnicas de cuantificación en Geografía*. Editorial Tebar Flores. Madrid.
- Gámir Orueta, A., M. Ruiz Pérez y J. Seguí Pons. 1995. *Prácticas de Análisis Espacial*. Oikos-tau. Barcelona.
- Goodchild, M. 1986. *Spatial Autocorrelation*. Geo Books. Norwich, United Kingdom.
- Harvey, D. 1979. *Urbanismo y Desigualdad Social*. Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid.
- Lucero, P. y J.P. Celemín. 2008. La calidad de vida de la población en la determinación de la calidad territorial. Un estudio de autocorrelación espacial aplicado a la ciudad de Mar del Plata, Argentina. *GeoFocus* 8: 94-114.
- Molinatti, F. 2013. Segregación residencial socioeconómica en la ciudad de Córdoba 2001 y 2008. Detección de patrones socio-espaciales a nivel barrial. En: N. Formiga y E. Garriz (comp.), *XII Jornadas Argentinas de Estudios de Población*, pp. 1281-1307. Editorial de la Universidad Nacional de Sur (Ediuns). Versión en CD. Bahía Blanca.
- Tobler, W. 1970. A computer Movie Simulation Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography* 46(2): 234-240.
- Vilalta y Perdomo, C. 2005. Cómo enseñar autocorrelación espacial. *Economía, Sociedad y Territorio* V(18): 323-333.

# Análisis de interacción



# INTERACCIONES ECONÓMICAS TRANSFRONTERIZAS Y SUS EFECTOS EN ESPACIOS NACIONALES

*Armando García de León*

## **INTRODUCCIÓN**

Los Estados Unidos Mexicanos, nombre oficial de México, cuenta con una superficie cercana a los dos millones de kilómetros cuadrados. Por su extensión alcanza el lugar trece a nivel mundial. Su forma es alargada en el sentido Norte-Sur y sus puntos extremos de latitud están separados 2.000 kilómetros. Además, el Trópico de Cáncer prácticamente lo divide por la mitad.

Los elementos geográficos referidos antes dan lugar a diversas consecuencias, siempre en términos de un territorio desigual. Por su entorno físico México destaca como uno de los siete países megadiversos, al combinar condiciones físicas tanto del Norte como del Sur del continente, aparte de una franja intermedia entre los 20 y 26 grados de latitud Norte que ofrece condiciones ambientales de excepción.

Si bien en términos geográficos esa diversidad tiene repercusiones ventajosas, en otros ámbitos resulta menos afortunada. Por ejemplo, producto de las asimetrías físicas únicamente 24 por ciento del territorio nacional se beneficia de climas templados, realidad generadora de otra desigualdad, al concentrar más de 28 millones de personas en una superficie de apenas 8 mil kilómetros cuadrados (INECC 2011) formada por la capital nacional y sus alrededores. Pero otras 10 millones de personas están dispersas en más de 175.000 localidades, cada una con menos de 500 residentes (INEGI 2011), dificultando el llevar a todas ellas los servicios e infraestructura deseables.

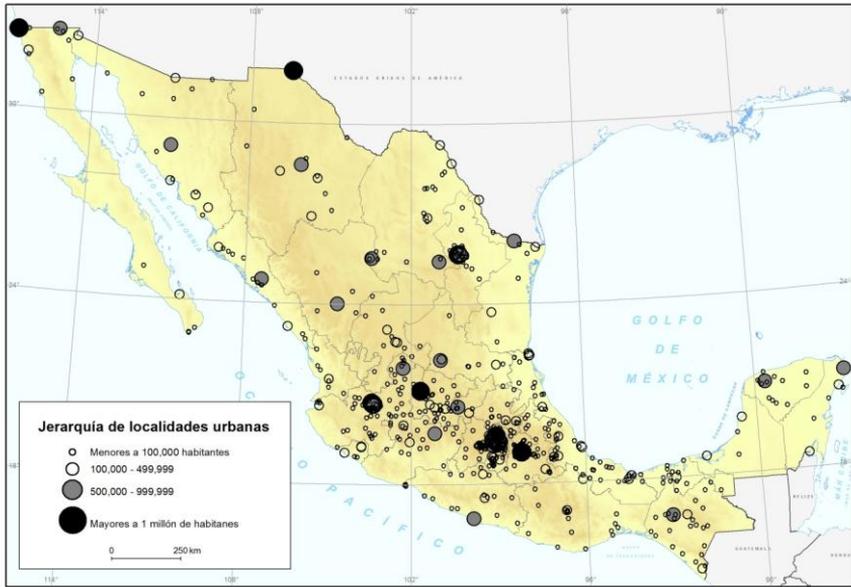
Para explicar este comportamiento demográfico contrastante se puede echar mano de una lógica determinista. El Norte del país enfrenta temperaturas extremas (muy cálidas en verano y frías en invierno), al igual que la porción Sur (temperatura elevada todo el año, excesiva humedad y lluvias constantes). En contraste, la región central de México mantiene una temperatura relativamente templada a lo largo del año y lluvia suficiente. Las condiciones referidas podrían explicar el por qué 58 por ciento de los 112 millones de la población de este país, reportados por el censo poblacional más reciente (INEGI 2011), habitaban en la franja central, en comparación con el 26 por ciento de la región Norte y el 16 por ciento de la parte Sur.

Hasta aquí los aspectos físicos antes referidos parecen justificar esta desigualdad poblacional. Sin embargo, falta mencionar que 47 por ciento del escurrimiento hidrológico se concentra en la región Sur (INEGI 2013), volumen que puede llegar al 60 por ciento si se suman otras corrientes vecinas a esa porción del territorio nacional. A diferencia de la anterior, la región Norte apenas cuenta con el 15 por ciento del total nacional, derivado del clima semiárido que la caracteriza. En consecuencia la carencia de agua en el Norte debería provocar que la porción Sur contara con un número muy superior de habitantes, a pesar de sus limitantes físicas.

En consecuencia de lo anterior, queda claro que las circunstancias ambientales son insuficientes para entender el por qué la porción Norte del país está más poblada que la Sur, y viene al caso buscar otras alternativas desde una plataforma conceptual diferente. Puede ser útil acudir a la Economía, en especial al inducir causas de carácter más bien exógeno. Al mismo tiempo, para analizar el comportamiento de espacios regionales (tal y como lo propone esta investigación) se hace necesario considerar elementos propios de la Geografía Económica, por el hecho de que la población buscará asentarse en lugares que ofrezcan oportunidades de empleo y mejores condiciones de vida.

El presente trabajo se orienta a intentar demostrar la presencia de un efecto gravitacional entre el centro de México y Sur de los Estados Unidos que beneficia la frontera Norte del primero, el cual

es inexistente en la región Sur, debido al bajo potencial económico de los países de esa región. Para ese fin se ilustra el empleo de técnicas básicas de clasificación de unidades territoriales, correspondientes a la Geografía Cuantitativa, para ejemplificar su utilidad en el análisis espacial.



**Figura 1.** Sistema Urbano de México. Localidades mayores de 15.000 habitantes. Elaboración del autor en base a datos de INEGI. Censo de Población 2010.

## **CONSIDERACIONES TEÓRICAS**

### **Funcionalidad regional entre Norte de México y Sur de los Estados Unidos.**

La frontera de México con los Estados Unidos se extiende a lo largo de 3.185 kilómetros y está integrada por seis entidades (estados) político-administrativas. En ellas el número de ciudades

mayores de 100.000 habitantes es inferior a las que se ubican al sur del Trópico de Cáncer, donde empieza la zona templada del país (Figura 1). Se puede observar que de las 25 localidades ubicadas en los estados de esa frontera, 10 se encuentran sobre la línea fronteriza, relativamente aisladas del sistema urbano y de la dinámica económica del resto de México. No es aventurado afirmar que en términos de recursos naturales disponibles no deberían estar allí. Menos aún ciudades con más de un millón de residentes.

Para comprender la lógica de crecimiento de esos lugares se pueden revisar diversos enfoques. Antes de hacerlo conviene revisar la Figura 2, donde se muestra el tamaño de las economías de las 32 entidades federativas que integran al país, en términos de su Producto Interno Bruto (PIB).



**Figura 2.** Producto Interno Bruto de las entidades federativas de México y países vecinos. Elaboración del autor en base a datos de INEGI, Censo de Población 2010 y Censos Económicos 2009.

Puede observarse que se encuentran valores relativamente altos en la franja central del país, con un PIB máximo de 175 mil millones de dólares (mmd) en la capital nacional y su zona conurbada (96

mmd). Conforme se avanza hacia el Sur ese parámetro se reduce de manera notable. Las únicas excepciones se encuentran en Campeche (con PIB de 50 mmd.) y en Tabasco (32 mmd), cifras elevadas por contabilizar en ellas buena parte de la producción petrolera. De manera paradójica se trata de entidades donde predomina la pobreza, ya que los mayores beneficios de la venta de hidrocarburos salen de esos lugares, para distribuirse en todo el país.

De la misma manera, hacia el Norte el PIB disminuye de manera notable para repuntar en los estados fronterizos (PIB promedio de 30 mmd) alcanzando un máximo en Nuevo León (74 mmd), la segunda potencia industrial del país. Este comportamiento rompe una clara tendencia a la baja, lo cual es comprensible al observar los altos valores del PIB que caracterizan las cuatro unidades territoriales que estructuran la frontera Sur de los Estados Unidos (California, Arizona, New Mexico y Texas). Se encuentra así una especie de juego de fuerzas gravitacionales que se desarrollan entre dos polos: uno en el centro de México y el otro en la frontera Sur del país vecino, donde es viable ubicar un polo en California y otro más en Texas.

Si se acepta que los cuatro estados referidos antes forman una amplia región, y que los seis estados mexicanos de esa frontera integran otra, podría abordarse el estudio a partir de la interacción binacional entre dos regiones vecinas.

Mediante este enfoque se puede acudir a postulados de la teoría Centro-Periferia (Prebisch 1987), donde una región muestra condiciones económicas más avanzadas (el Sur de Estados Unidos) mientras la otra (el Norte de México) calificará con notable atraso respecto de la primera. Bajo este supuesto, especialistas como Friedman y Alonso afirman que esos términos denotan "*...un conjunto de relaciones estructurales que mantienen a la periferia en subordinación casi permanente respecto del núcleo urbano-industrial*" (1964:21). Los estados fronterizos de México podrían aceptarse como región subordinada, limitándola a un crecimiento mínimo debido a que sus rendimientos excedentes serían absorbidos por la región de mayor pujanza.

Este supuesto es difícil de aceptar en el caso que nos ocupa, ante el mejor nivel económico que presentan todos los estados fronterizos del Norte de México, comparados con sus vecinos nacionales. Por ejemplo, Sonora (PIB: 29 mmd) colinda con Sinaloa (22 mmd) al Sur; Chihuahua (28 mmd) con Durango (12 mmd); Coahuila (33 mmd) con Zacatecas (11 mmd), etcétera.

Por otra parte, debe recordarse que las interacciones fronterizas México-Estados Unidos ocurren en el marco de un tratado de libre comercio (TLCAN) que desde 1994 eliminó barreras arancelarias, para estructurar un mercado relativamente abierto entre ambas naciones (además de Canadá). De esa manera los tradicionales obstáculos políticos y comerciales fronterizos se desdibujan de manera notoria, al menos en el aspecto de los intercambios comerciales.

En razón de lo anterior, son oportunos los planteamientos de Glade cuando se refiere a México al afirmar: *"...la proximidad geográfica a los grandes y expansivos mercados estadounidenses ha ayudado enormemente a la expansión de las exportaciones mexicanas de productos primarios"* (1963:16). Este hecho lleva a cuestionar la aplicabilidad de teorías de alcance internacional en esta investigación (estilo Norte-desarrollado vs. Sur-pobre), luego de identificar diversos factores que demuestran la integración y complementariedad de esos espacios vecinos.

Las afirmaciones de Myrdal deben tomarse en cuenta a partir de su teoría sobre la causación circular, donde se mencionan los posibles efectos benéficos de difusión (spread) que pueden generar los centros de expansión económica hacia otras regiones cercanas y afirma: "Es completamente natural que toda la región que rodea a un centro nodal de expansión obtenga ventajas de la corriente en aumento de los productos agrícolas y que se vea estimulada en todos los aspectos del desarrollo tecnológico" (1979:44). Bajo estas condiciones Myrdal acepta que las ciudades cercanas (en este caso del Norte de México) al centro económico de expansión (el Sur de los Estados Unidos) podrían transformarse también en centros de expansión, circunstancia que parece cumplirse en las principales localidades de la franja fronteriza mexicana.

El estado de California representa la unidad territorial de mayor relevancia por tener el PIB más elevado de la Unión Americana (1,5 billones de dólares) y junto con Texas (1,2 billones de dólares) son las dos economías más poderosas de ese país. Al sumar los otros dos casos (Arizona con 245 mmd y New Mexico con 81 mmd), acumulan un PIB de 3,5 billones de dólares, poco más del doble de todo México (1,6 billones de dólares).

En contraste, en la frontera Sur se encuentran Guatemala (PIB: 68 mmd) y Belize (3 mmd), cuyo PIB sumado apenas representa el 4 por ciento del total mexicano. La dimensión de Guatemala lo colocaría a la par de la cuarta entidad de México en cuanto a su PIB. Sin embargo el peso económico de esta frontera es poco significativo, razón por la cual se encuentran relativamente pocas ciudades importantes en el lado mexicano y solo dos de ellas (ambas menores de 15 mil habitantes) se ubican sobre la línea fronteriza (Mapa 1).

El poderío económico que se percibe en el Norte de México justifica el análisis de sus causas, ya sea estudiando las interacciones que se presentan entre ellas (la causación circular de Myrdal), o simplemente como casos de espacios multinacionales de cierta excepción. Así lo sugieren autores como Asuad (2001) quien asume que el comercio internacional se ha incrementado de manera notable entre regiones más que entre países completos, provocando que: *“Las tendencias de la integración económica dependen, en gran medida, de la concentración de la actividad económica en las regiones y los principales centros urbanos que las conforman”* (2001:27).

Hasta aquí se ha procurado aportar un marco teórico capaz de sustentar el por qué la zona fronteriza del Norte de México muestra mayor potencial económico con respecto al Sur. A pesar de los argumentos presentados la base demostrativa se limita a cuestiones teórico-conceptuales, razonamientos empíricos y a un solo parámetro numérico (el Producto Interno Bruto). Se están dejando de lado otros factores significativos (el ingreso, la capacidad industrial, el nivel de remuneraciones, etcétera). Por ello, se hace deseable incorporar mayor información al análisis.

## **ANÁLISIS DE LA REGIÓN FRONTERIZA DESDE LA GEOGRAFÍA CUANTITATIVA**

### **Determinación del peso de la industria en las entidades federativas mexicanas.**

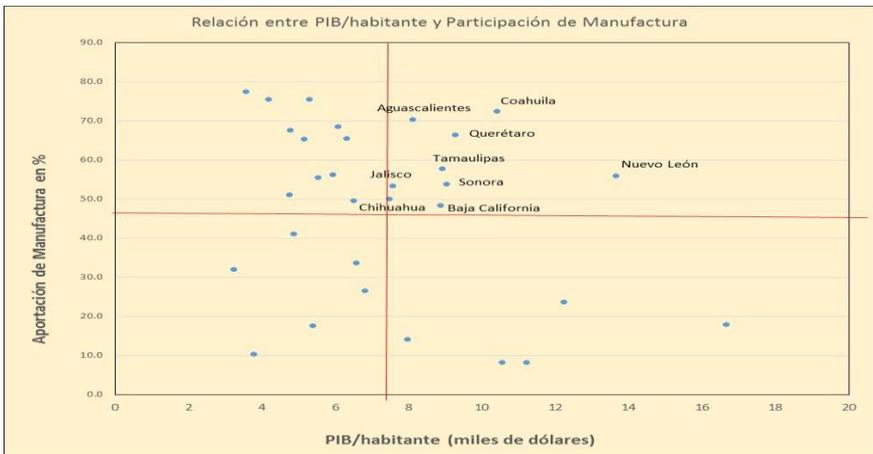
#### *Análisis bidimensional*

La vecindad entre ciudades de la frontera entre los Estados Unidos y México, aunada a la alta capacidad de sus unidades económicas ubicadas en el primero, favorecen la afirmación de que la industria debe ser una actividad de cierta preponderancia en la parte mexicana. Ante la presencia de un mercado de primera importancia a nivel mundial, las ciudades de este país deben aprovisionar de manufacturas a las del vecino del Norte ante las necesidades de lugares como California (más de 34 millones de habitantes) y Texas (21 millones) (Banco Mundial 2011), con poblaciones que cuentan con alto poder adquisitivo.

De manera adicional a lo anterior, la colindancia entre ciudades fronterizas binacionales se beneficia de su cercanía, debido a que los costos de transporte se minimizan al máximo, favoreciendo el desplazamiento de mercancías entre los dos países. Al estar ausentes aranceles y otras cargas impositivas, gracias al Tratado de Libre Comercio vigente, la dinámica exportadora llega a niveles significativos. Tan solo por la ciudad de Nuevo Laredo, Tamaulipas, cruzan cerca del 30 por ciento de las importaciones y exportaciones intercambiadas por vía terrestre (SRE 2012), del total del comercio entre las dos naciones, superior a los 600 mil millones de dólares por año (Ibid.).

En ese contexto es oportuno aplicar alguna técnica propia de la Geografía Cuantitativa, para caracterizar las 32 entidades federativas de México, en un intento de dimensionar la relación existente entre participación de la industria en la economía estatal y el ingreso promedio de la población local. Para ese fin se llevó a cabo un análisis de correlación bivariado a partir del cual se obtuvo la Figura 3, gráfico de dispersión, en la cual se representaron los valores medios de los parámetros.

Como se sabe, al incluir los valores medios se genera un sistema de cuadrantes, En el primero deberán ubicarse las unidades territoriales que se ajustaron al supuesto de que a mayor participación de la manufactura también correspondería un ingreso por habitante superior al promedio nacional. Al revisar el gráfico, se destaca que los seis estados mexicanos de la frontera Norte cumplieron esta condición. Únicamente otros tres casos lograron lo anterior (Jalisco, Aguascalientes y Querétaro), formando una región homogénea en el centro-occidente del país.



**Figura 3.** Relación entre ingreso promedio y presencia de manufacturas en México. Cálculos propios en base a datos de INEGI. Censo de Población 2010 y Censos Económicos 2009.

Este resultado puede interpretarse como una confirmación adicional de que la franja fronteriza de México, vecina de los Estados Unidos, presenta mayor capacidad económica en relación con los demás, ahora contemplando no sólo el PIB local, sino también el ingreso promedio y la presencia de la industria.

### *Análisis multivariado*

A pesar de esta nueva comprobación, el análisis efectuado tal vez siga presentando cierto sesgo debido todavía a la insuficiencia de cifras "duras". Esa limitación puede resolverse en buena medida al considerar la valoración de las entidades federativas mediante un análisis multivariado, partiendo ahora de un número representativo de indicadores numéricos.

Para afrontar este tipo de cálculos, a nivel internacional se ha acostumbrado emplear el Análisis de Componentes Principales (por ejemplo, para generar el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas). Esta técnica funciona a partir de diversos procesos matemáticos, donde las dimensiones originales del sistema (número de indicadores originales) se transforman en un sistema con igual número de vectores (eigenvectores). El primero de ellos concentrará la mayor parte de la información original o varianza del sistema (Torres 2009:216).

A pesar de su aplicación generalizada este método depende de la correlación entre los indicadores, de manera tal que a mayor asociación el índice final resultará más representativo. En contraste, de tener una relación mediana o baja, el índice reflejará en menor medida los parámetros originales. Aquí se presenta una especie de paradoja: si las variables a cuantificar tienen alta correlación entre sí entonces meramente repiten la información original. Y si se eliminan los elementos con mayor interrelación entonces el índice global tendrá una representatividad muy pobre.

Ante esta importante limitación del Análisis de Componentes Principales, se consideró emplear la técnica del Valor Índice Medio (García de León 1989), debido a que esta última opción asimila 100 por ciento de la información de los indicadores originales y depende en menor medida de las correlaciones internas. En consecuencia, el índice medio será un mejor referente para reflejar el potencial económico de las 32 entidades federativas de México.

Una vez elegido el método de cálculo corresponde seleccionar los referentes apropiados. Conviene señalar que se prefirieron indicadores, definidos estos como resultado de la combinación de dos o más variables solas. Lo anterior, debido a que una variable absoluta de índole socioeconómica depende generalmente del

número de habitantes. En consecuencia, una unidad territorial con alto número de residentes también obtendrá valores altos en los demás parámetros.

A manera de ejemplo una ciudad con un millón de habitantes seguramente superará a otra con solo 200 mil residentes en número de escuelas, maestros, automóviles, hospitales, etcétera. Por el contrario un indicador, como puede ser el número de médicos por mil habitantes será menos predecible, y lugares con poca importancia demográfica pueden superar a otros de mayor jerarquía.

**Tabla 1.** Indicadores económicos seleccionados para caracterizar entidades federativas de México, 2010. Cálculos propios en base a datos de INEGI, Censo de Población 2010 y Censos Económicos 2009.

<b>Indi- cador</b>	<b>Variables que forman los indicadores</b>	<b>Concepto representado</b>
I	PIB por habitante (en dólares)	Ingreso medio de la población.
II	Producción económica total por habitante (en dólares)	Producción de la población total.
III	Remuneración promedio por empleado (dólares)	Nivel de remuneraciones.
IV	Valor de producción por empleado (dólares)	Productividad por unidad laboral.
V	Participación de la manufactura en la economía (en %)	“Peso” local de la industria.

Para favorecer la mejor aplicación de la técnica del Valor Índice Medio se eligieron cinco indicadores, formados a partir de once variables, conjunto que se muestra en la Tabla 1. En ese primer tabulado se presenta el PIB por habitante, a fin de ponderar el nivel de ingreso medio de los habitantes de cada unidad territorial. Después se tomó en cuenta la producción económica en términos de la población total, para estimar el tamaño de su economía en relación con su dimensión demográfica. El tercer referente es la remuneración promedio por empleado, buscando determinar dónde es mayor. El cuarto indicador valora la productividad del personal ocupado, mientras que el quinto y último procura representar el

peso de la manufactura, actividad que en la frontera Norte debería alcanzar una importancia notable. Es de suponer que las entidades federativas mexicanas con valores altos en este conjunto de parámetros deberían alcanzar también valores índice elevados.

Con el coeficiente de correlación lineal de Pearson ( $r$ ), generado entre los cinco indicadores evaluados, resultó que el PIB por habitante se asoció con la producción ( $r= 0,987$ ) y con la productividad por empleado ( $r= 0,936$ ); la producción por habitante mostró correlación significativa con la productividad por empleado ( $r= 0,964$ ). El resto de combinaciones correspondieron a valores medianos ( $r$  cercano a  $+0,5$ ) y otros quedaron fuera de cualquier asociación. Este comportamiento asimétrico, con predominio de correlaciones bajas, demostró que la técnica de Componentes Principales habría sido inadecuada aquí y se justificó el empleo de otra más flexible.

El tratamiento estadístico a que se sometieron las 32 unidades territoriales generó un índice global (Valor Índice Medio). Por obtenerse a partir de objetivos propios de esta investigación se decidió nombrarlo como: Índice de Potencial Económico. De acuerdo con su valor, cada caso quedó asignado a una de tres categorías según la magnitud del mismo en términos de su cercanía (o lejanía) al valor promedio nacional, tal y como se resume en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Condición de 32 entidades federativas de México, según el Índice de Potencial Económico, 2010. Cálculos propios en base a datos de INEGI. Censo de Población 2010 y Censos Económicos 2009.

Condición respecto al promedio nacional	Región Norte	Región Centro	Región Sur	Subtotal
Muy inferior e Inferior	3	4	5	12
Media	3	5	1	9
Superior y Muy superior	6	3	2	11
Totales	12	12	8	32

Este segundo tabulado sintetiza las agrupaciones formadas. Además, permite determinar que 12 estados enfrentaban carencias económicas adversas, mientras que 9 más se encontraban en situación cercana al promedio nacional. Los 11 casos restantes deben considerarse en una situación favorable en cuanto a su potencial de desempeño económico.

Las agrupaciones explicadas antes responden a un comportamiento relativamente acorde con una distribución normal, hecho que comprueba la consistencia de la técnica estadística aplicada. Un análisis detallado de los grupos así formados se plantea a continuación.

### *Índice de Potencial económico de entidades federativas de México.*

Luego de incorporar cinco indicadores para caracterizar los 32 casos estatales de México, se propone que el Índice de Potencial Económico resultante para cada una de ellas es más representativo de sus condiciones, en comparación de considerar únicamente uno o dos parámetros. Mediante la Tabla 2 es posible determinar la distribución de casos según su región geográfica de ubicación.

Una primera revisión de ese tabulado permite identificar tres comportamientos básicos: la región Sur presentó la mayor cantidad de casos estatales en la categoría más adversa (con 5 estados en condiciones inferiores y muy inferiores respecto del promedio nacional); la región Centro fue mayoritaria en casos dentro del nivel medio y cercano a la media (con 5 casos), mientras que la región Norte agrupó mayor cantidad de estados (6 en total) en el grupo más favorecido (condiciones superiores y muy superiores).

Con los resultados referidos antes ya es posible plantear que el Centro del país puede suponerse mayoritariamente en condiciones promedio, con la capital nacional como zona de potencial excepcional y a manera de polo económico central. En contraste, los valores del Índice caen de manera significativa hacia el Sur donde únicamente se destacan Campeche y Tabasco, debido al sobredimensionamiento de su capacidad industrial derivada de la extracción de hidrocarburos.

Por el contrario, seis de los doce estados norteros demostraron niveles altos en su Índice de Potencial Económico, de los cuales cinco se encuentran en la frontera con los Estados Unidos. El único ausente dentro de este conjunto protagónico fue Sonora, colindante de manera mayoritaria con Arizona y uno de los casos fronterizo con menor PIB de los Estados Unidos.

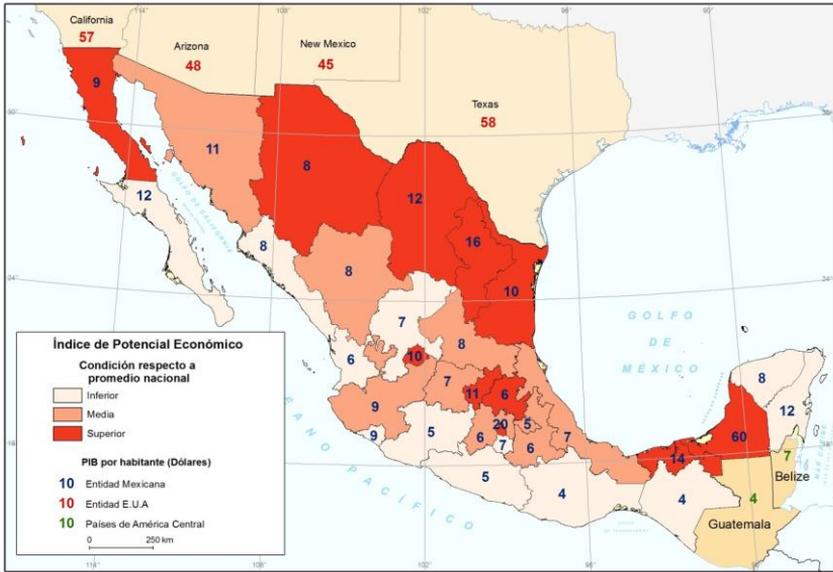
Sin embargo, conviene señalar que a pesar de quedar situado en el segundo grupo (casos en condición promedio), Sonora y Veracruz encabezaron las unidades territoriales de esa categoría ya que sus Índices alcanzaron el valor de 3,60, apenas dos décimas por abajo del límite superior grupal. En rigor, si se redujeran dos décimas a ese límite ambos estados se integrarían al grupo de mejor desempeño y formarían parte de una amplia región que incluiría ocho casos, desde Baja California (en el noroeste de la frontera con los Estados Unidos) hasta Campeche (al sureste de México).

#### *Relación entre Índice de Potencial Económico e ingreso por habitante.*

Como último ejercicio cuantitativo dentro de esta investigación, se decidió analizar la posible relación entre el índice multivariado explicado antes y el ingreso promedio de cada entidad federativa (PIB por habitante). De manera empírica podría suponerse una alta asociación entre ambos parámetros. Sin embargo, el coeficiente de Pearson solo alcanzó un valor moderado y poco significativo ( $r=0,519$ ), con el cual no es posible afirmar que ambos valores se corresponden entre sí. Este resultado hace suponer que el PIB por habitante es inadecuado para ponderar las condiciones de ingreso de la población, a pesar de la universalidad con la que se le emplea en múltiples estudios socioeconómicos.

A pesar de las limitaciones de este último referente de ingreso, la Figura 4 es útil para ilustrar la categorización de las 32 unidades estatales que integran México. La figura mencionada permite observar las diversas regionalizaciones generadas mediante el Índice de Potencial Económico de los casos evaluados. Queda claro el alto nivel alcanzado por los estados de la frontera Norte (excepto Sonora, como ya se explicó antes), donde varios de ellos también se caracterizaron por un ingreso promedio más bien alto, al menos en comparación con sus vecinos inmediatos del Sur.

Los resultados de las regionalizaciones efectuadas a partir del Índice de Potencial Económico se completan al señalar cierta concentración de casos en la porción central del país (Distrito federal (4,20), Querétaro (4,00) e Hidalgo (3,80), todo ellos cercanos a Aguascalientes (3,80), donde se inicia la porción Norte.



**Figura 4.** Clasificación de entidades federativas de México y PIB/habitantes incluyendo países vecinos. Elaboración del autor en base a datos de INEGI, Censo de Población 2010 y Censos Económicos 2009.

## CONCLUSIONES

Gracias a las técnicas cuantitativas aplicadas en esta investigación fue posible demostrar la presencia de un efecto gravitacional entre el centro de México, que parece funcionar a manera de un polo económico, y la frontera Sur de los Estados Unidos donde quedarían ubicados otros dos grandes polos (California y Texas).

Las unidades territoriales cercanas a alguno de los centros referidos demostraron mejores condiciones, reflejadas estas mediante un Índice de Potencial Económico. Así ocurrió con los seis estados fronterizos mexicanos situados al Norte.

A la vez se demostró la inexistencia de un efecto similar conforme se avanza hacia el Sur. Si se acepta la conclusión propuesta en el párrafo anterior, la ausencia de efectos gravitacionales notables se debe al bajo potencial económico de los países vecinos y de toda América Central, ya que solo Guatemala superaba los 50 mil millones de dólares en su PIB, cifra marginal ante los valores de California y Texas, ambos superiores al billón de dólares.

En rigor, si se descontara la aportación al PIB que representa la extracción de hidrocarburos de Tabasco y Campeche, estos casos quedarían a la par de sus vecinos, con una perfecta regionalización de todo el Sur y extremo oriental de México en las condiciones más bajas del Índice de Potencial Económico resultante del análisis multivariado efectuado.

Es claro que los principios teóricos de la Causación Circular planteados por Myrdal y los planteamientos de Asuad, respecto a que ciertas regiones, más que países completos, parecen encabezar la dinámica económica. Aparte de la postura de Glade, al afirmar que un país se beneficia de su vecindad con una potencia, pueden aplicarse al estudio de México y sus colindancias internacionales, identificando el efecto gravitacional entre polos de amplio potencial económico.

Al terminar el presente estudio queda pendiente sugerir la continuación de este tipo de análisis, dirigido ahora a revisar con mayor cuidado la circunstancia económica de la frontera Sur de México y sus interacciones con las naciones de América Central.

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa su agradecimiento a la Lic. Erika Segundo de Jesús por su importante colaboración al elaborar la cartografía que integra la presente publicación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Asuad, N. 2007 [2001]. *Economía regional y urbana*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

- Banco Mundial. 2011. *World Development Indicators database*. Banco Mundial. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses\\_por\\_PIB\\_%28PPA%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Pa%C3%ADses_por_PIB_%28PPA%29).
- Friedmann, J.R. y W. Alonso (eds). 1964. *Regional Development and planning: A reader*. Mass. Cambridge.
- García de León, A. 1989. La Metodología del Valor Índice Medio. *Boletín del Instituto de Geografía* 19: 69-87.
- Glade, W.P.; y C.W. Anderson. 1963. *The political economy of Mexico*. Madison, Wisconsin.
- Instituto Nacional de Ecología (INECC). 2011. *Cuarto almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en 20 ciudades mexicanas (2000-2009)*. Instituto Nacional de Ecología (SEMARNAT), México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censos Económicos (INEGI). 2009. *Tabulados por establecimiento. Aguascalientes*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/rd.asp>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. *Censo de Población y Vivienda 2010: Tabulados del Cuestionario Básico. Localidades y su población por entidad federativa según tamaño de localidad*. Fecha de elaboración: 24/05/2013. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/tabuladosbasicos/default.aspx?c=27302&s=est>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). 2012. *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos México*.
- Myrdall, G. 1979 [1959]. *Teoría económica y regiones subdesarrolladas*. Fondo de Cultura Económica. México.
- Prebisch, R. 1987. Cinco etapas de mi pensamiento sobre el desarrollo. *Comercio Exterior* 37(5): 345-352.
- Secretaría de Relaciones Exteriores. (S.R.E.) México. 2012. *Consulado General de México en Laredo*. Disponible en: <http://consulmex.sre.gob.mx/laredo/index.php/comercio>
- Torres, F. (Coord.) 2009. *Técnicas para el Análisis Regional*. Rozga, R.; García de León, A.; Delgadillo, J., pp. 248. Editorial Trillas. México.



# MODELOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA EN TRANSPORTE PÚBLICO

*Oswaldo Cardozo, Cristian Javier Da Silva, Érica Leonor Gómez*

## INTRODUCCIÓN

EL CRECIENTE AUMENTO de las distancias a recorrer en las áreas urbanas para cumplir con las actividades cotidianas (trabajar, estudiar, comprar, etc.) hace que la necesidad de viajar se convierte en un elemento crítico (Oppenheim 1995). De esta forma el transporte público constituye un mecanismo indispensable para las ciudades actuales, ya que hace posible el desplazamiento diario de grandes volúmenes de población que requieren viajes de manera concentrada y en cortos periodos de tiempo, lo cual directa o indirectamente repercute el desarrollo de muchas actividades y funciones urbanas.

El conocimiento de las características y condiciones en las que se producen los desplazamientos, son un requisito fundamental para planificar los sistemas de transporte en general, y en particular, el sistema de transporte público colectivo. Para emprender esta tarea resulta necesario disponer de información precisa y fiable sobre aspectos de los viajes como frecuencia, duración, modo de transporte, costos, etc. La descripción y análisis pormenorizado de esta información, permitirá adoptar las medidas técnicas o políticas más adecuadas.

Los problemas en los sistemas de transporte urbanos se presentan de numerosas formas, uno de ellos es la falta de adecuación territorial entre dos de sus componentes principales: la oferta y demanda. Normalmente se busca ajustar lo mejor posible la oferta existente al carácter dinámico que presenta la demanda, ya que el desajuste entre ambos inicia el círculo vicioso: pocos

pasajeros, menor uso del transporte público, deterioro del servicio, más uso del coche particular, congestión vehicular, etc.

Buena parte del esfuerzo académico para solucionar estos problemas se orientó hacia el desarrollo de modelos para la planificación integral del sistema de transporte con sofisticados algoritmos que intentan reproducir el comportamiento racional de las personas, agregados en unidades espaciales homogéneas y bajo supuestos discutibles.

Recientemente se lograron avances sobre la base de modelos locales, con estructuras más sencillas, con menor requerimiento de datos, y de fácil aplicación. Este conjunto de herramientas metodológicas se conocen como modelos de respuesta directa o Quick Response Model (QRM), y están claramente orientados hacia el transporte de público.

En este marco, el objetivo general pretende indagar en formas alternativas a los métodos tradicionales para conocer la demanda de viajes en transporte público, para lo cual se propone específicamente:

Analizar el acceso al servicio transporte público, en función de la proximidad a la parada y la combinación de variables en su entorno.

Describir el grado de relación existente entre el uso de transporte público y variables como las distancias recorridas por los pasajeros, características demográficas, socioeconómicas, algunos usos de suelo, y factores internos del sistema de transporte.

Generar modelos para conocer la demanda potencial de viajes, que capturen el efecto distance decay, a través de una función empírica por un lado, y que logre identificar las variables con mayor peso explicativo de la combinación lineal de un grupo de ellas.

Con esto se busca ensayar algunas metodologías válidas para conocer la demanda de viajes a nivel de parada, una escala donde los procedimientos tradicionales no logran buenos resultados. Como áreas de aplicación se han seleccionado algunos sectores del centro de las ciudades de Resistencia y Corrientes.

## **MARCO TEORICO**

### **Modelos de estimación de la demanda**

Existen numerosos trabajos sobre modelos de predicción de la demanda del transporte público donde, aunque se adoptan un amplio abanico de enfoques, la mayor parte de los estudios utiliza el clásico modelo de cuatro etapas. En teoría la complejidad de estos modelos les convierte en la mejor herramienta para el análisis de la demanda de transporte público. Sin embargo, en la práctica presentan algunos inconvenientes y han sido objeto de críticas (Flyvbjerg *et al.* 2006; Marshall y Gardy 2006).

Uno de los problemas más frecuentes es la baja precisión que muestran para los análisis de acceso a nivel local -parada o estación-producto de la fuerte agregación de los datos en zonas de transporte, ya que en los modelos regionales se asume que todos los viajes de una zona parten de su centroide; esto tampoco le permite tratar con detalle el gradiente de la distancia. Otras críticas al modelo provienen de su carácter secuencial, lo que facilita la propagación de errores producto de un error en la calibración, además de su escasa sensibilidad frente a la dinámica de los usos del suelo.

Pese a que en el campo de la planificación de los sistemas de transporte y modelización de la demanda en particular, es indiscutido el predominio del modelo de cuatro etapas, han surgido alternativas que podrían actuar como complemento en aspectos donde presenta cierta debilidad.

A pesar de los importantes avances que suponen los modelos de respuesta directa, Dickey (1983) se encarga de aclarar que no están diseñados ni pretenden sustituir al modelo de cuatro etapas. Básicamente se trata de herramienta de una familia de los modelos de regresión múltiple, alimentadas por un reducido número de variables, sencillas y fáciles de obtener, lo que refuerza la idea de rápida aplicación y se convierte en una herramienta planificación adecuada para ciudades con recursos limitados (Cervero 2001; Walters y Cervero 2003; Zhao *et al.* 2003; Chu 2004).

Pese a su escasa difusión, estos modelos suponen importantes ventajas frente al enfoque tradicional términos de simplicidad, obtención de resultados y bajo coste. Además de considerar en forma más detallada el entorno de las paradas, capturando mejor la heterogeneidad de las variables. En este proceso juegan un rol fundamental los Sistemas de Información Geográfica (en adelante SIG) ya que permiten segmentar el área de captura de las paradas - buffer o service area- en franjas de distancia.

## Transporte y SIG

Entre la amplia gama de posibles aplicaciones de los SIG, las orientadas a resolver problemas de transporte han recibido mucha atención, lo que dio lugar a una rama específica de los SIG llamado comúnmente SIG-T. Esta se ocupa de los principios y cuestiones que surgen de la aplicación de las tecnologías de información geográfica a los problemas de transporte, y se reconoce como una de las áreas de aplicación SIG pioneras (Rodrigue *et al.* 2013).

El campo de la investigación en SIG-T es amplio, aunque se pueden reconocer dos enfoques: la utilización de SIG puede facilitar y mejorar los estudios de transporte o centrarse en cuestiones vinculadas al desarrollo nuevas metodologías o procesos para satisfacer las necesidades del transporte. En general, los temas relacionados con los estudios de SIG-T se pueden agrupar en tres categorías: representaciones de los datos, análisis y modelización, aplicaciones. En Waters (1999) se puede encontrar una buena revisión del concepto, fundamentos, antecedentes, software, entre otros aspectos aplicados al SIG-T, mientras que en Goodchild (2000) se plantean y desarrollan algunas de las perspectivas que es posible adoptar.

El manejo de información territorial en los estudios de transporte hizo que los SIG se incorporaran como herramientas de análisis, donde pronto demostraron sus ventajas. Los primeros usos tuvieron su origen en los análisis de cobertura de las redes de transporte, que apoyados en SIG permiten conocer la población y el empleo en el área de influencia de las estaciones (O'Neill *et al.* 1992; Murray 2001; Zhao *et al.* 2003).

## **Modelización de la demanda con SIG**

Para evitar situaciones de infra o sobre dotación en transporte de Rus *et al.* (2003) hablan de “la inversión justa en infraestructura” para referirse al problema que plantea la decisión de cuál debe ser su capacidad óptima. Se debe prestar la suficiente atención a conservar el equilibrio entre la oferta y demanda de transporte, debido al fuerte impacto que puede tener una sobre la otra. Está claro que, para cualquier tarea de planificación es necesario conocer la demanda, porque en base a ello será posible establecer el orden correcto de las actuaciones; en el caso de los transportes este debe ser uno de los primeros pasos hacia una planificación eficiente.

Dejando de lado el método tradicional para estimar la demanda en transporte, cobran importancia los QRM. Cabe señalar que entre las técnicas empleadas existe una fuerte inclinación hacia los modelos basados en análisis de MRLM en sus más diversas formas, como así también al empleo de herramientas SIG para la generación de variables que alimenten los modelos de regresión.

Este intento por unir la modelización matemático-estadística con los SIG, es reconocido por varios autores (Albrecht 2007; Goodchild 2008; Fischer y Getis 2010) como una línea prioritaria en la ciencia de la información geográfica. Conocer la demanda potencial superando los análisis de cobertura en base a herramientas SIG sencillas, conduce hacia formas más evolucionadas de modelamiento con métodos de respuesta directa que utilizando en forma conjunta análisis de regresión múltiple y SIG.

### **El efecto Distance Decay**

Aunque la delimitación de áreas de cobertura con SIG a través de la red ofrece resultados más reales que utilizar una métrica euclidiana, ambos métodos comparten una debilidad: no consideran el efecto de la distancia para acceder a la estación o parada, por lo tanto, la población estaría igualmente servida en la proximidad que en el límite del área de influencia. Estudios en este sentido (Levinson y Brown-West 1984; Keijer y Rietveld 2000) muestran lo contrario:

existe una fuerte caída con la distancia del número de viajeros que acceden a las estaciones o paradas.

El efecto disuasivo que representa la distancia con respecto a las interacciones, ya estaba implícito en la formulación de la Primera Ley de la Geografía: "*todas las cosas están relacionadas entre sí, pero las más próximas en el espacio tienen una relación mayor que las distantes*" (Tobler 1970). Esto dio el sustento empírico a simple idea de cómo la distancia, que representa la separación entre diferentes localizaciones, es considerada el factor de mayor influencia en la magnitud de las interacciones espaciales (Halás *et al.* 2014).

La función que representa el decrecimiento con la distancia puede ajustarse distintos tipos de distribución de probabilidad, en respuesta a la forma de interacción y la estructura del espacio. En general, la frecuencia o intensidad de las interacciones decrecen más rápido que linealmente, adoptando una curva según una función de disminución exponencial o potencia negativa (Gregory *et al.* 2009; Cheng y Bertolini 2013; De Smith *et al.* 2015).

En efecto, si la proximidad juega un papel fundamental en los estudios de transporte público para la estimación de la demanda, es allí donde cobran sentido las funciones *distance decay*<sup>1</sup>. Por lo tanto, resulta evidente como el factor geográfico que representa el efecto disuasivo de la distancia sobre los desplazamientos, debe ser incorporado en los modelos de demanda.

Cabe señalar también que, los análisis de cobertura basados en estas herramientas ofrecen a los planificadores una información útil, ya que el número de personas o empleos son indicadores de la demanda potencial, pero no son una estimación estricta de la demanda real de usuarios del transporte público. Las estimaciones realizadas a partir de las curvas *decay* se deben utilizar como complemento de otras o como herramientas exploratorias, debido a que se trata de modelos simplificados (Cardozo 2011).

---

<sup>1</sup> *Distance Decay*: representación matemática expresada como  $1/d_{ij}^2$  que refleja la idea del efecto de la distancia sobre la accesibilidad a los lugares, es decir, cómo el número o frecuencia de interacciones entre localizaciones sobre el territorio disminuye a medida que aumenta la distancia entre ellos, de manera tal que hay más interacción en distancias cortas y menos en distancias mayores (Gregory *et al.* 2009).

## **METODOLOGÍA**

### **Fuentes de información**

Las fuentes de información utilizadas han sido diversas. En principio debemos mencionar que los datos de base principal corresponden a información primaria, relevada en campo durante los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2014; cabe destacar que se han realizado trabajos previos a nivel de paradas (Da Silva *et al.* 2014), pero no con el detalle obtenido en esta oportunidad respecto a la distancia recorrida en Resistencia.

Por otra parte, del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC) de la República Argentina proviene la cartografía censal con información del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010, un insumo básico para los cálculos de densidad de población y población a nivel de pixel, utilizados en los análisis posteriores.

Las Direcciones de Catastro y Cartografía municipal aportaron las capas geográficas correspondientes a la red vial, delimitación barrial y manzanero, que provienen de la base de datos SIG propia actualizados al año 2013. Cabe señalar también que, el LabTIG de nuestra Universidad proporcionó la capa de paradas del transporte público, proveniente de un relevamiento efectuado en 2009.

### **Relevamiento de datos en campo**

Los datos relevados en campo constituyen la información esencial para la aplicación de los modelos de respuesta directa. La metodología consistió en el conteo de pasajeros por medio de aforos en las paradas, aunque por la concepción misma de los modelos sus resultados no son comparables.

Dada la magnitud de la infraestructura a relevar -más de 10 líneas y 1400 paradas por ciudad- se decidió a los fines prácticos y operativos realizar un recorte de la realidad. En el caso de Resistencia se optó por centrar en análisis una línea: la N<sup>o</sup> 9. Se trata de un servicio importante en la ciudad por ser una de las más extensas, posee 3 ramales y su recorrido enlaza el centro de la

ciudad con varios barrios periféricos en sentido norte-sur. En el caso de la ciudad de Corrientes, buscando relacionar el uso del transporte público con la actividad comercial, se trabajó con un sector de 29 manzanas en el centro de la ciudad, aledaño a la peatonal Junín.

Básicamente se trató en un registro por medio de planillas del ascenso y descenso de pasajeros durante 3 días de una semana, para diferentes momentos del día -3 en Resistencia y 4 en Corrientes-, y durante periodos de 30 minutos. Se trata de un aforo parcial del servicio, sin embargo los momentos observados responden a las variaciones temporales (diaria y semanal) que experimenta el volumen de usuarios.

En la ciudad de Corrientes, el aforo se realizó cubriendo un total de 13 paradas, a partir de las cuales se agruparon aquellas que estaban a menos de 200 metros, resultando finalmente 11 sitios con observaciones; el relevamiento permitió registrar en cada parada -además del conteo de pasajeros-, el números de línea, las conexiones posibles y un indicador de compras. En el caso de Resistencia, siguiendo una metodología similar se relevó información en 40 paradas, donde también se consultó a los pasajeros la distancia recorrida hasta la misma.

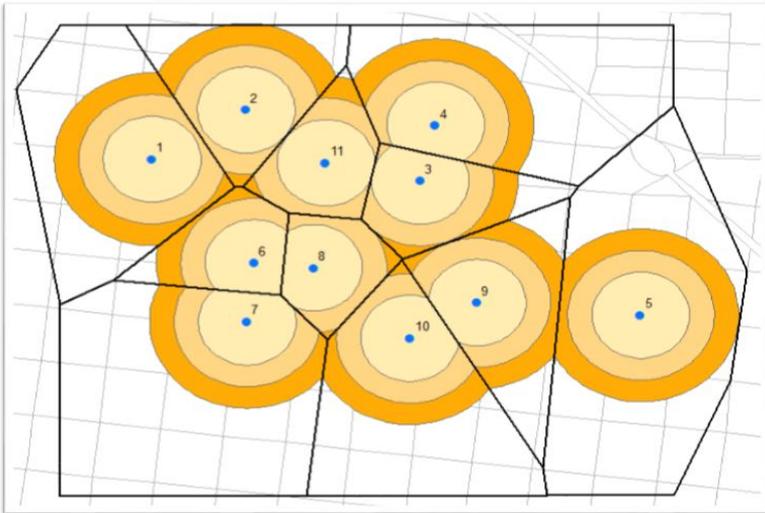
### **Cálculo de variables**

Las herramientas SIG están llamadas en un corto plazo a ocupar un destacado rol en el campo de la movilidad y el transporte, debido a sus amplias capacidades analíticas y para el manejo de información georeferenciada (Da Silva *et al.* 2014). En este marco, se aplicaron una serie de geoprosos en un software SIG para el cálculo de las variables, que de otra forma serían difíciles de obtener.

Una de las variables más significativas que fueron generadas, fue la población en el entorno de la parada. Para esta tarea se procedió al cálculo de la densidad de población en hectáreas a partir de la cartografía censal, y luego su conversión a un formato ráster con celdas de 20 m, a los efectos de obtener la cantidad de personas a nivel de pixel. Cabe señalar que se trata de un enfoque superador frente a los clásicos análisis de unidades censales donde la asignación es por centroide o proporcional del área. Esta variable

constituye una aproximación a la demanda general, que luego es posible ajustar con las funciones de distance decay.

Otra tarea resuelta con los SIG fue la determinación del área de captura de las paradas. Esta operación se realizó con la herramienta de buffers múltiple, lo que permitió calcular franjas de distancia desde las paradas, cada 100 m para Resistencia y 150 m en Corrientes. Un parámetro importante en estas operaciones es definir el umbral máximo de distancia, lo cual normalmente es resuelto de forma arbitraria. En el caso de Resistencia se utilizó el valor de 400 m, ya que representa la distancia promedio que caminan los pasajeros en las paradas relevadas.



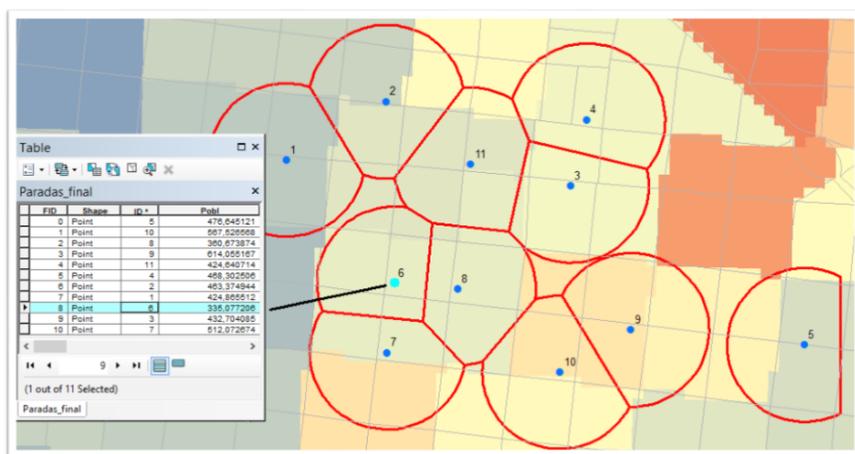
**Figura 1.** ejemplo de determinación del área de influencia a nivel de parada y ajuste por polígonos de Thiessen.

En el caso de la ciudad de Corrientes se utilizó el umbral de 200 m, ya que una distancia mayor genera una fuerte superposición de las áreas de influencia. Para reducir el efecto de este problema, se realizó el ajuste de las áreas de influencia por medio de polígonos de

hiessen<sup>2</sup>, antes de efectuar el cálculo de las variables (ver Figura 1).

## Metodología para el análisis de la demanda potencial

En primera instancia, mediante operaciones de superposición entre las franjas de distancia y las variables rasterizadas (población a nivel de pixel, distancias, usos del suelo, etc.) se procedió a la obtención de los valores en el entorno de cada parada (ver Figura 2). Para ello se utiliza la herramienta de estadística zonal, donde una de las operaciones aritméticas que ejecuta, es la suma de los valores de los pixeles en el entorno definido por las franjas del buffer correspondientes a cada parada.



**Figura 2.** Ejemplo de cálculo de población a nivel de pixel a nivel de parada.

Posteriormente, con los aforos de pasajeros realizados y en base a la pregunta de la distancia recorrida hasta la parada, se agregaron cada 100 m de manera tal que puedan integrarse a los buffers

<sup>2</sup> Son entidades poligonales generadas a partir de un conjunto de puntos muestrales. Cada polígono define un área de influencia alrededor de su punto de muestra, de modo que cualquier ubicación dentro del polígono está más cerca de ese punto que cualquiera de los otros puntos de muestra (ESRI Dictionary).

construidos y las estadísticas obtenidas. Con estos datos, se procedió a la construcción de las curvas distance decay con sus correspondientes funciones de ajuste, que representan la forma en que decrecen los viajes a partir del aumento de la distancia desde la parada (ver Figura 3).

Por último, se obtuvieron los valores de probabilidad para cada franja de agregación, considerando los 400 m como el umbral máximo, por lo tanto, las probabilidades obtenidas resultan del cociente entre el total de pasajeros observados en la franja sobre la sumatoria de los pasajeros de todas las franjas.

Para el construcción del modelo de regresión múltiple, se emplearon las variables resultantes del relevamiento y los geoprocesos, fueron clasificadas en función de su origen, de ese modo se facilita también su interpretación al modelizarlas (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Variables asociadas al modelo de regresión.

Categorías de Variable	Variables
Dependientes	Pasajeros suben
	Pasajeros bajan
	Pasajeros total
Internas	Nº de paradas
	Nº de líneas
	Nº de conexiones
Espaciales	Distancia a la peatonal
	Densidad comercial
	Densidad servicios
Sociodemográficas	Población
	Usos del suelo (coeficiente de variación)

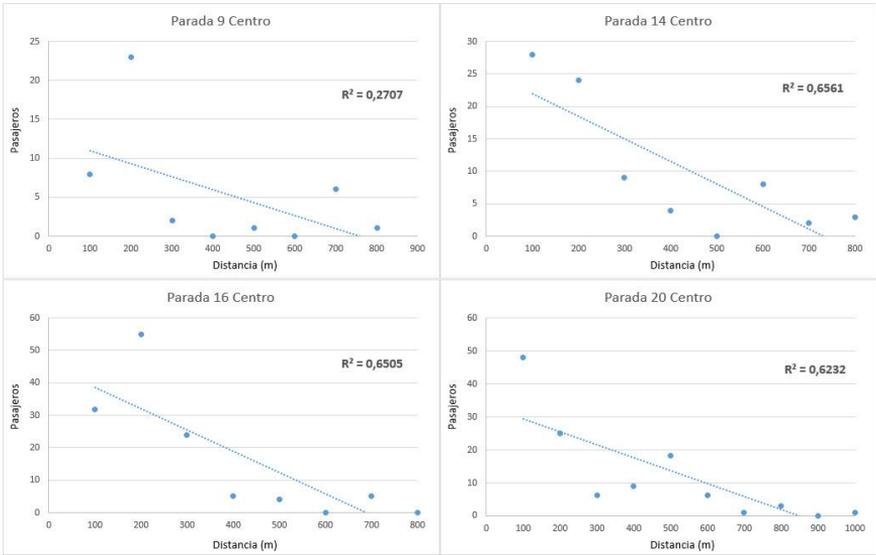
## **RESULTADOS**

De las experiencias de aplicaciones de los modelos simplificados para analizar la demanda de viajes en transporte público, se presentan los resultados de curvas decay en Resistencia en primer lugar y luego un modelo basado en análisis de regresión múltiple para centro de la ciudad de Corrientes.

### Curvas *Distance Decay* y Demanda Potencial

La construcción de las curvas *distance decay* nos permite identificar el comportamiento espacial de los usuario del transporte público, con ello observamos la distancia que las personas están dispuesta a caminar para acceder al mismo.

Asimismo, ante los clásicos análisis de cobertura del servicio - generalmente por medio de buffers-, las curvas *decay* muestran un fotograma más profundo de la influencia que tienen en lo usuarios, y con ello, permite analizar si los emplazamientos de infraestructura de transporte -paradas-, son los adecuados.



**Figura 3.** Curvas de *Distance Decay* en las paradas del Centro. Fuente: Aforo de pasajeros, octubre-noviembre de 2014.

**Tabla 2.** Estimación de la Demanda Potencial (DP) en las Paradas 9, 14, 16 y 20 del Centro. Elaboración del autor.

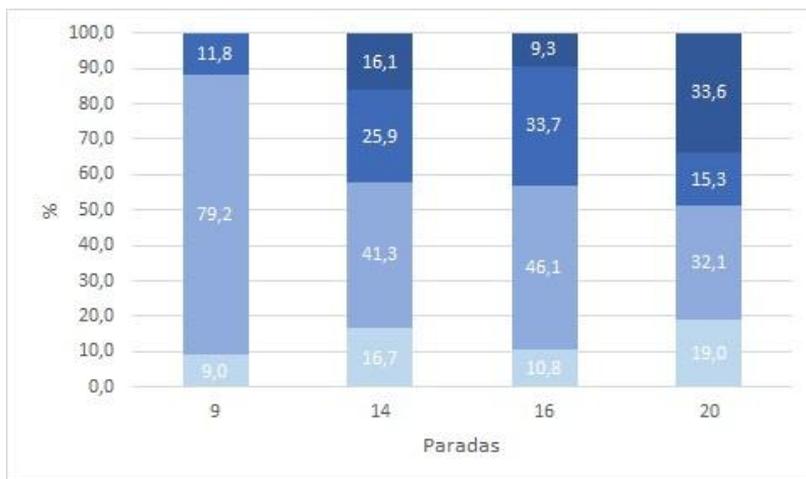
Parada Distancia	9		14		16		20	
	Pobl. Total	Demanda Potencial						
100	167	33	143	51	137	35	75	52
200	515	289	410	126	338	149	244	88
300	883	43	685	79	566	109	480	42
400	1.130	-	951	49	751	30	708	92
TOTAL	2695	365	2189	305	1792	323	1507	274

Las curvas del Centro presentan ajustes de entre 0,62 y 0,65 para la parada 14, 16 y 20, excepto en la parada 9 donde el R2 es de 0,27. En términos generales, las paradas 14, 16 y 20, manifiestan una disminución de la población que utiliza el transporte público con el aumento de la distancia, situación también presente pero de una manera más débil en la parada 9, la cual puede estar siendo influido por el comportamiento de alguna variable del entorno como los usos del suelo, la densidad de población, entre otras. Estas consideraciones abren nuevos interrogantes en el análisis más acabado del transporte público y su relación con los usos del suelo, debido a que existen cuestiones que escapan a los análisis por medio de funciones distance decay.

Una vez construidas las curvas y caracterizada el comportamiento espacial de los pasajeros, se procedió a estimar la demanda potencial a nivel de franjas para cada una de las paradas aforadas en el centro (ver Tabla 2).

Para todas las paradas del centro consideradas, observamos que los máximos valores estimación de demanda potencial se produce siempre en la franja de 200 m, lo que representa un 79,2% en la parada 9, 41,3% para la parada 14, y un 46,1% en la 16, a excepción de la parada 20 donde el monto mayor de demanda se alcanza en la franja de 400 m con el 32,1% y luego sí en la franja de 200 m (ver

Figura 4). Es decir, que en casi todas ellas se confirma la hipótesis del efecto de la distancia respecto del volumen de pasajeros.



**Figura 4.** Proporción de demanda potencial por franjas. Centro.  
Fuente: Aforo de pasajeros, octubre-noviembre de 2014.

### Modelo de Regresión Múltiple

El Modelo de Regresión Lineal Múltiple (MRLM), permitió testear las variables dependientes: pasajeros total, número de ascensos (pasajeros) y número de descensos (pasajeros). Para el Número Total de Pasajeros, el modelo se realizó a través del paquete estadístico SPSS y fue alimentado por un total de siete variables explicativas, de las cuales cuatro, fueron quienes mejor performance evidenciaron en el modelo seleccionado (Tabla 3). Una de las limitaciones del modelo, radica en el número de observaciones (11 paradas), el cual puede afectar el poder de predicción del mismo, pero dada la naturaleza exploratoria del estudio, esta metodología representa sin dudas una herramienta válida.

**Tabla 3.** Resumen del modelo.

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
,960 <sup>a</sup>	,922	,870	273,892	2,502

a. Variables predictoras: (Constante), Num\_lin, Den\_com, Pobl, ic.

b. Variable dependiente: Pasaj\_Tot.

El modelo final fue seleccionado en función de su ajuste y poder explicativo (R<sup>2</sup> 0,922), el mismo incluye cuatro variables independientes que evidencian coeficientes positivos y significantes. Por ejemplo, la variable con mayor poder explicativo sobre la dependiente es el número de líneas en la parada (78,352), seguida de la variable densidad comercial (26,133) e Índice de Compras - IC (3,264). En cambio, la Población residente en el entorno de la parada, fue quien evidenció el menor coeficiente, aunque la relación sigue siendo positiva (ver Tabla 4).

En el contexto de análisis, resulta significativo el alto valor explicativo de una variable espacial (densidad comercial) sobre el número total de pasajeros en transporte público. Con esto, el aumento en uno de la variable densidad comercial, representarían una ganancia de 26 pasajeros de Transporte Público. Este resultado, pone de manifiesto la fuerte vinculación entre los usos del suelo y la demanda de transporte público, dato que resulta de interés tanto para estudios espaciales como específicamente de geomarketing o para decisores de políticas públicas urbanas.

**Tabla 4.** Coeficientes del modelo.

Variables	Coeficientes no estandarizados (B)	Error típico	Coeficientes tipificados (Beta)	t	Sig.
(Constante)	-321,661	1056,524		-,304	,771
Población	,274	1,597	,030	,172	,869
Densidad Comercial	26,133	25,190	,132	1,037	,340
IC	3,264	,907	,766	3,599	,011
Nº Líneas	78,352	97,912	,204	,800	,454

Por otra parte, el aumento de una línea de transporte, representaría una ganancia de 78 pasajeros, lo cual resulta previsible al tratarse de una variable interna del Transporte, las cuales afectarán aún más a la variable dependiente que el resto. Finalmente, un aumento en uno de los valores de población residente en el entorno a la parada, implicaría un aumento de solo 0,27 pasajeros, lo cual fue esperado por tratarse de población que probablemente no utilice el servicio de transporte público dada su cercanía al área comercial y microcentro.

## **CONCLUSIONES**

Luego de ver las aplicaciones concretas en las ciudades tomadas como ejemplo, queda demostrado como el empleo de SIG puede hacer contribuciones reales en los estudios de transporte, y particularmente en la estimación de la demanda. El rol de los SIG en el campo de los transportes se consolida y muestra un gran potencial a futuro.

Uno de los problemas más frecuentes en los clásicos modelos de demanda, es la imprecisión que muestran para los análisis de acceso al transporte público al no ser capaces de tratar con detalle el gradiente de la distancia. Con la obtención de las curvas de distance decay se logró reconstruir el comportamiento espacial de los pasajeros al momento de acceder al transporte público. Esto permitió por un lado, definir en forma empírica el área de captura de las paradas -400 m-, y por otro, comprobar la caída que muestran los viajes con el aumento de la distancia; cabe destacar que se vuelven pronunciadas más allá de los 200 m.

Por su parte, los modelos de regresión, como en este caso lineal múltiple, permiten obtener de un modo relativamente sencillo coeficientes que evidencian el peso de ciertas variables sobre una dependiente. Al tratarse de una variable asociada a la demanda del transporte público, permite evaluar los distintos tipos de variables: internas, espaciales, sociodemográficas, etc., en función de su poder explicativo.

Entre las variables analizadas con el MRLM, cabe mencionar el importante peso otorgado al número de líneas en la parada, lo cual es esperable por tratarse de una variable interna del sistema de transporte. Algo de interés por su carácter espacial, es el segundo lugar que ocupa la densidad comercial, una variable de gran interés para el sector de la ciudad analizada. Por último, debe mencionarse el escaso peso que logra la población total, una situación esperada sobre todo en función a trabajos anteriores donde muestra el mismo comportamiento.

Pese a la muy buena perspectiva que presentan estos modelos de cara al futuro de la modelación en transporte, debemos dejar en claro que se trata de un enfoque complementario basado en procedimientos simplificados, destinados al análisis de espacios en particular como estaciones o paradas, con el fin de reducir los costos y tiempos de ejecución, por lo tanto sus resultados deben ser tomados con precaución.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Albrecht, J. 2007. *Key Concepts and Techniques in GIS*. SAGE. London.
- Cardozo, O.D. 2011. Integración de Modelos para la Estimación de la demanda en el Transporte Público. Aplicación de Sistemas de Información Geográfica, análisis de regresión múltiple y funciones distance-decay al metro de Madrid. Tesis Doctoral, Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá.
- Dickey, J.W. 1983. *Metropolitan Transportation Planning*. Graw-Hill. New York.
- Cheng, J. y L. Bertolini. 2013. Measuring urban job accessibility with distance decay, competition and diversity. *Journal of Transport Geography*: 100-109. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.03.005>
- Da silva, C., O. Cardozo, G. Odriozola y C. Bondar. 2014. Uso Comercial del Suelo y Transporte Público en el Centro de Resistencia, Argentina. Trabajo Presentado en XVIII Congreso Panamericano de Ingeniería de Transito Transporte y logística (PANAM). Universidad de Cantabria, España.

- De Smith, M.J., M.F. Goodchild y P.A. Longley. 2015. *Geospatial Analysis. A Comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*.
- Fischer, M.M. y A. Getis. 2010. *Handbook of Applied Spatial analysis. Software Tools, Methods and Applications*. Springer, Heidelberg.
- Flyvbjerg, B., M.K.S. Holm y S.K. Buhl. 2006. Inaccuracy in Traffic Forecast. *Transport Reviews* 26(1): 1-24.
- Halás, M., P. Klapka y P. Kladivo. 2014. Distance-decay functions for daily travel-to-work flows. *Journal of Transport Geography*: 107-119. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2014.02.001>
- Goodchild, M.F. 2000. GIS and Transportation: status and challenges. *GeoInformatica* 4: 127-139.
- Tobler, W.R. 1970. A computer model simulation of urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46(2).
- Gregory, D., R. Johnston, G. Prat, M.J. Watts y S. Whatmore. 2009. *The Dictionary of Human Geography*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Levinson, H.S. y O. Brown-West. 1984. Estimating bus ridership. *Transportation Research Record* 965: 8-12.
- Keijer M.J.N. y R. Rietveld. 2000. How do people get to the railway station? The Dutch experience. *Transportation Planning and Technology* 3(23): 215-135.
- Marshall, N. y B. Grady. 2006. Sketch Transit Modeling Based on 2000 Census Data. *Journal of the Transportation Research Board* 1986: 182-189.
- O'Neill, W., R. Ramsey y J. Chou. 1992. Analysis of transit service areas using geographic information systems. *Transportation Research Record* 1364: 131-138.
- Oppenheim, N. 1995. *Urban travel demand modeling: from individual choices to general equilibrium*. John Wiley and Sons. New York.
- Páez, A. 2013. Mapping travelers' attitudes: does space matter?. *Journal of Transport Geography* 26: 117-125. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.09.002>
- Rodrigue, J.P., C. Comtois, B. Slack. 2013. *The Geography of Transport Systems*. Hofstra University, Department of Global Studies & Geography. Disponible en: <http://people.hofstra.edu/geotrans>
- Waters, N. 1999. Transportation GIS: GIS-T. En: P.A. Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, y D.W. Rhind (eds), *Geographical*

- information systems: Principles, techniques, management and applications*, pp. 827–844. Wiley. New York
- Walters, G. y R. Cervero. 2003. *Forecasting Transit Demand in a Fast Growing Corridor: the direct-ridership model approach*.
- Zhao, F., L. Chow, M. Li, A. Gan y I. Ubaka. 2003. Forecasting Transit Walk Accessibility: a regression model alternative to the buffer method. *Transportation Research Board Annual Meeting*. Disponible en: [http://www.ltrc.lsu.edu/TRB\\_82/TRB2003-001007.pdf](http://www.ltrc.lsu.edu/TRB_82/TRB2003-001007.pdf)



# MODELIZACIÓN DE LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO A PARTIR DE ISOCRONAS

*Alejandro Parras*

## INTRODUCCIÓN

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GEOGRAFÍA, las representaciones cartográficas constituyen el resultado de una suma de tratamientos de los datos estadísticos repartidos de manera igual o desigual en el espacio. En líneas generales, Quiroz Hernández (2011) considera que constituyen instrumentos diseñados para comprender los hechos en sus relaciones espaciales, facilitando la visión de las cosas y el mejoramiento del conocimiento geográfico de quienes las consultan. Al respecto, y tal como lo señala Claret *et al.* (2010) la técnica de isolíneas constituye una de las más importantes en el cartografiado cuantitativo, y es utilizada para proporcionar una visión global de la configuración de la superficie estadística, mostrar la variación espacial de un fenómeno en el espacio y representar la localización de una serie de cantidades. El amplio uso que se da a este tipo de cartografía ha llevado a lo largo del tiempo a dar nombre propio a una multitud de líneas dependiendo de lo que representen tales como; isohietas (precipitaciones), isobaras (presión atmosférica); isotermas (temperaturas), y también aquellas referidas a variables no convencionales, por ejemplo isocronas (tiempo).

En este sentido, en una superficie estadística de implantación puntual, es posible superar la discretización del dato generando una superficie continua (areal) por medio de la interpolación espacial. De este modo, aplicando operadores matemáticos a los valores reales/conocidos, (muestrales) se conocen valores estimados (no muestrales) de la realidad. El resultado cartográfico ofrece una mejor comprensión del patrón de distribución de la variable interpolada. En palabras de Bosque Sendra y García (2001), para

aplicar la interpolación es posible emplear procedimientos muy diferentes, en este sentido el desarrollo informático de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha significado la incorporación de algoritmos simples y avanzados para llevar adelante el procedimiento. Tales como la Interpolación en función de la distancia (Inverse Distance Weighting -IDW-); y kriging, entre otros; la elección de ellos dependerá de cual fuere el resultado cartográfico esperado, dado que arrojan disímiles resultados y ello permite que se puedan experimentar distintos escenarios hasta alcanzar aquel que se considera más adecuado (Claret *et al.* 2010).

El método IDW (determinístico o local) usa la información proveniente de los vecinos para calcular el valor del atributo, emplea los puntos muestrales que están en la vecindad de cada punto no muestral, asumiendo que las cosas que están más cerca son más parecidas de las que están más lejos. Por su parte el método Kriging Universal (geoestadístico o global) tiene en cuenta todos los valores existentes, calcula la autocorrelación espacial de los valores de la variable a interpolar, y estima un semivariograma. No solo predice los valores, sino que proporciona el error de los mismos, siendo estos últimos un indicador de una buena o mala predicción. Como resultado de esta labor se obtienen imágenes raster que permiten visualizar la continuidad en el espacio del valor de la variable.

Por lo expuesto, esta contribución se orienta a validar el uso de isocronas, como técnica cuantitativa para el análisis de redes, proponiéndose en primer lugar la construcción (en un entorno SIG) de las isocronas que resultan del tiempo de viaje del transporte público en la ciudad de Resistencia; y en segundo lugar, describir sus patrones de distribución e interacciones con la población potencial.

### **Isocronas del transporte público**

La Geografía ha mostrado desde siempre un importante interés en analizar el transporte ya que establece su estrecha relación con las condiciones físicas (topografía) y socio-económicas de un espacio geográfico determinado. Así, desde sus intentos de consolidación e institucionalización como ciencia, la geografía aborda al transporte desde diferentes perspectivas.

La circulación como objeto de estudio, fue tratada con mayor atención en la escuela Regional (basada en métodos descriptivos), por su importancia en la promoción del intercambio y del progreso de las sociedades. Para Seguí Pons y Martínez Reynés (2004) hasta la primera mitad del siglo XX el análisis era histórico y tecnológico tanto de las infraestructuras existentes, como de los problemas del territorio que se le imponían a la implantación adecuada de las mismas.

En la década del 50 la Geografía incorpora técnicas cuantitativas a la tarea de encontrar diferencias espaciales, es por ello que el transporte toma relevancia en el marco de las relaciones espaciales. Así, se consideran temas de interés tales como la red de transporte (localización, estructura y transformaciones, enlaces e interconexiones); flujos en las redes (intensidad, continuidad, intermitencia, modelos predictivos de demanda); las redes y el desarrollo económico de las regiones (Seguí Pons y Martínez Reynés 2004).

En este sentido, numerosos son los aportes conceptuales-metodológicos publicados en referencia al análisis de la interacción población-transporte público y su tratamiento y modelización mediante SIG, en su mayoría tendientes a mejorar la eficiencia y equidad del servicio, analizando, por ejemplo, la cobertura espacial, los tiempos de viaje, perfiles de movilidad, entre otros, proponiendo el trazado de líneas de isoaccesibilidad<sup>1</sup>, para la obtención de mapas que permiten vislumbrar desigualdades territoriales.

*El tiempo de los desplazamientos es una variable que cobra cada vez más importancia en la movilidad, ya que supone una referencia en la valoración que la población hace del desplazamiento cada vez más importante que la distancia longitudinal de los mismos. Las distancias hace ya tiempo han dejado de medirse en longitud para medirse en tiempo, de forma que lo que interesa a la población no es la separación física entre residencia y trabajo sino el tiempo que supone dicho desplazamiento (García Palomares 2008; 206).*

---

<sup>1</sup> Líneas que unen puntos de igual valor de algún tipo de variable tales como distancia, tiempo o costo económico.

Por lo expuesto, la investigación pone atención en el tiempo<sup>2</sup> de viaje para el análisis de la configuración de red de transporte público a partir de curvas isocronas<sup>3</sup>, entendidas estas como las líneas que unen puntos de igual tiempo o regularidad horaria. Así O'sullivan *et al.* (2000) construyen isócronas para analizar la accesibilidad del transporte público en Easterhouse (Glasgow). Mora Aliseda *et al.* (2003) calculan índices de accesibilidad de las poblaciones extremeñas a los principales centros de actividad económica de Extremadura (España) utilizando el método de interpolación determinístico IDW (Inverse Distance Weigth o Interpolación inversa a la distancia Euclidia al Cuadrado). Redondo (2003) alcanzan el conocimiento de la movilidad y de los niveles de accesibilidad de la población a los centros sanitarios en Madrid a partir del tiempo que invierten los usuarios en desplazarse a su centro de salud de referencia utilizando los medios de transporte público de uso habitual, utilizan para ello el método de interpolación IDW. El mismo método es usado para construir isocronas por Lopez Suarez *et al.* (2009) para el análisis de los indicadores de accesibilidad en la región de Castilla y León (España). Escobar García (2008) construye y analiza las curvas isócronas de accesibilidad que las redes de transporte público de la ciudad de Manizales (Colombia) ofrecen actualmente a los habitantes. García Palomares (2008) plantea comprender el modelo de movilidad de los trabajadores en la Comunidad de Madrid y las variables explicativas del mismo. Escobar *et al.* (2010) realizan un diagnóstico y una comparación de las condiciones de accesibilidad para el suministro de Gas Natural Comprimido (GNC) en una región específica del Departamento de Caldas (Colombia) aplicando el método determinístico de curvatura mínima como modelo de predicción de los tiempos medios de viaje y costos de transporte entre la población y los principales centros de distribución. En este sentido García Orozco (2010) propone una metodología para la determinación de caminos mínimos en tiempo real, basados en la predicción a corto plazo de las densidades de

---

<sup>2</sup> Herce (2009:106) expresa que la medición de los indicadores de accesibilidad en redes de transporte colectivo presenta más dificultades, porque al tiempo de recorrido entre paradas se ha de añadir el tiempo probable de espera, el tiempo de transbordo y el tiempo de acceso a la estación.

<sup>3</sup> Dupuy (1997:152) expresa que se manifiesta una tendencia para representar, ya no la red (o algunos de sus aspectos), sino sus efectos para los usuarios.

tránsito sobre cada segmento de la red de Manizales (Colombia) reconociendo el método de interpolación Kriging ordinario con semivariograma esférico, como modelo de predicción de los tiempos medios de viaje. En ámbitos nacionales y locales se destaca el trabajo de Ramírez (2003) quien calcula medidas de Accesibilidad Geográfica, Temporal y Económica generadas mediante SIG, con el objetivo de mostrar la accesibilidad diferencial a los hospitales públicos que enfrenta la población de la provincia del Chaco. Así mismo, Ramírez (2009) propone dicho análisis para el área metropolitana del Gran Resistencia considerando para el estudio del tiempo de acceso a los centros de salud, el análisis de redes.

## **METODOLOGÍA**

Esta investigación permitió obtener el tiempo de viaje del transporte público de pasajeros desde el centro a la periferia de la ciudad. La medición se realizó en las seis líneas urbanas y las 6 líneas interurbanas de ómnibus de la ciudad de Resistencia. Dicha información fue incorporada a un SIG para aplicar procedimientos de interpolación y conseguir las curvas isocronas que permitan reconocer los niveles de accesibilidad espacio-temporal del servicio. Para cumplir con estos objetivos se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- En gabinete:

Preparación de la cartografía analógica de cada una de las líneas del transporte público de pasajeros según ramal y sentido de circulación (centro-periferia), a efectos de agilizar la tarea de campo y optimizar el tiempo de captura de datos.

- En campo:

- Relevamiento con receptor GPS (Sistema de Posicionamiento Global) de las paradas existentes para cada una de las líneas urbanas e interurbanas de ómnibus en la ciudad de Resistencia. Se registraron 719 paradas (Figura 1).

- Obtención del tiempo de viaje (según paradas) para cada una de las líneas de colectivo, desde el centro de la ciudad hacia la periferia, empleando un cronómetro y participando de los viajes predeterminados (Figura 1).

Las labores realizadas en la salida a campo merecen las siguientes consideraciones. Para relevar el dato de posicionamiento de las paradas y el tiempo de desplazamiento del vehículo, se utilizó el servicio de transporte público. Respecto de las paradas urbanas merece comentarse que en la periferia numerosas paradas no tienen elementos identificatorios reales y concretos expresados en la materialización del refugio o algún otro tipo de señalización. Esta situación determinó que se considere pertinente el testimonio de los choferes e inspectores para poder identificar cada uno de estos sitios permitiendo así su localización. En este sentido también se destaca el aporte del personal de la Dirección de Tránsito, Transporte y Carga de la Municipalidad de Resistencia.

Respecto de las paradas interurbanas, la situación fue análoga para el caso de aquellas que contaban con señalización, es decir se identificaron sin dificultad, caso contrario se aplicó lo que obra en la Ley Nacional de Transporte N° 3622 que hace referencia a que las paradas del servicio de transporte público deben ubicarse cada 200 metros.

- En gabinete
  - Integración de las paradas georreferenciadas mediante GPS con su correspondiente asignación de tiempo de viaje a la red del transporte público de pasajeros y al parcelario urbano, utilizando para ello las funcionalidades de los SIG. Para ello se procedió de la siguiente manera:
    - i. Descarga de los datos (paradas con sus coordenadas geográficas (latitud y longitud) en el Software Ozi Explorer
    - ii. Conversión al formato shape (.shp) e incorporación a un SIG.
    - iii. Reproyección de coordenadas Geográfica a Planas

- iv. Unión de los elementos gráficos (paradas) con sus atributos de tiempos de viaje.
- Aplicación de técnicas de interpolación. Tal como lo señalado con anterioridad, si bien existen variados procedimientos de interpolación, se proponen dos para la obtención de la superficie continua (raster) y el trazado de isocronas: IDW (corresponde al grupo de interpolaciones determinísticas) y el Kriging (que forma parte de las interpolaciones geoestadísticas o globales). Esta etapa del trabajo consistió en evaluar la idoneidad y pertinencia de ambos métodos de interpolación para la predicción de la variable en cuestión (tiempo de viaje) en cualquier punto o sitio del área de estudio. De esta forma cuando los datos no cubren toda la región de interés de estudio se emplea la interpolación y se consigue una superficie continua con el valor de la variable de interés.
  - Reclasificación de los niveles de accesibilidad temporal del transporte público. Se consideraron 7 categorías con una equidistancia de 5 minutos así se lograron representar a las isócronas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, y 35 minutos.
  - Recuperación de información de atributos según intervalos de tiempo. Fue necesaria la conversión de datos raster a vector para la aplicación de operados de búsqueda y consultas entre las isócronas y la capa de radios censales conteniendo la población. En efecto, se convirtió la imagen raster reclasificada en una capa vectorial obteniendo una representación de "isopletras". Por otra parte la capa de radios censales fue convertida en centroides. Esta etapa permitió conocer el número de potenciales usuarios del servicio que se encuentra en cada una de las categorías definidas en la fase anterior.

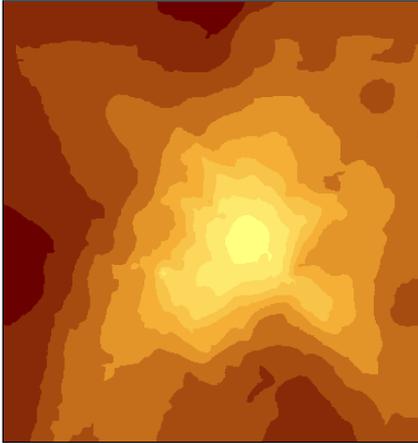
## **RESULTADOS**

El propósito de los estudios de Geografía Aplicada es dar cuenta de la realidad que nos rodea con el fin de apreciar las desigualdades e inequidades territoriales; una vez conocidos estos escenarios es

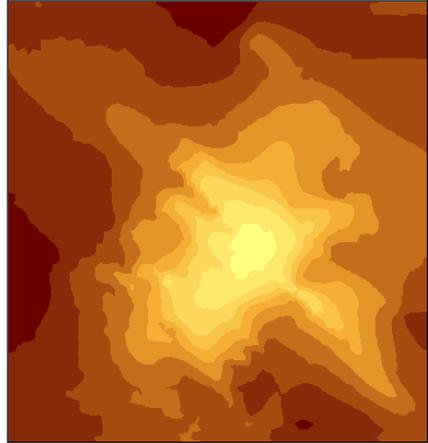
posible encaminar acciones que permitan atenuar situaciones de injusticias espaciales. Para alcanzar este propósito es preciso hacer un recorte de la realidad teniendo en cuenta aquellas cuestiones que actualmente constituyen temas prioritarios, desde nuestra mirada, la movilidad y el transporte público lo son. El recorte realizado en esta contribución implica abordar el espacio geográfico como una superficie estadística con valores muestrales asignados a puntos cuyo atributo es la variación del tiempo de viaje del transporte y su correspondiente relación con la población total. A partir de ellos es posible diagnosticar la eficiencia del servicio y su consideración en los estudios de Movilidad. En la Figura 1 se visualizan los 719 puntos muestrales que representan las paradas correspondientes a las 6 líneas urbanas y 6 líneas interurbanas.



**Figura 1.** Distribución de las paradas de las líneas Urbanas e Interurbanas en la ciudad de Resistencia, con asignación del tiempo de viaje desde el centro a la periferia.



**Figura 2.** Interpolación IDW.



**Figura 3.** Interpolación Kriging

Como indicamos anteriormente se aplicaron dos métodos de interpolación, el IDW - inverse distance weighting- y el Kriging Universal. Ambos difieren en los criterios utilizados para las predicciones, como también en la sistematización para alcanzar los resultados. Así, el primero -IDW- (Figura 2) considera que cada punto de la muestra ejerce una influencia sobre el punto a determinar y esa influencia disminuye en función de la distancia. Cada punto vecino contará con un "peso" en la determinación del valor del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre, siguiendo el principio de correlación espacial, (esto implica conocer a priori el fenómeno a estudiar para luego determinar el número de vecinos necesarios de ser incorporados en el cálculo).

Por su parte Kriging Universal (Figura 3), utiliza en la estimación las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, por lo que su uso implica un análisis previo de la información con el objeto de definir o extraer de esta información inicial un modelo que represente su continuidad en el espacio. Este método de interpolación asume que la distancia o la dirección entre puntos de la muestra reflejan una correlación espacial que puede ser usada para explicar la variación en la superficie. Kriging es un proceso de multipaso que incluye, primero, el análisis exploratorio

estadístico de los datos, la elaboración del semivariograma y la creación de la superficie continua con el valor de la variable en cuestión.

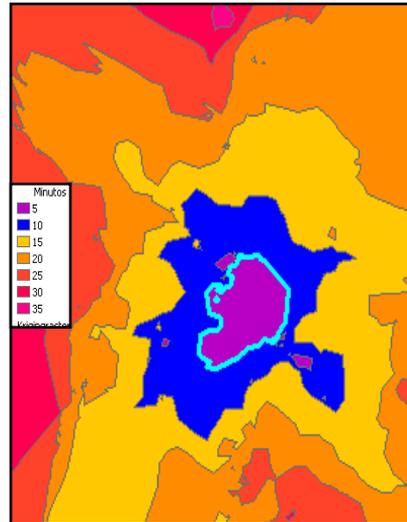
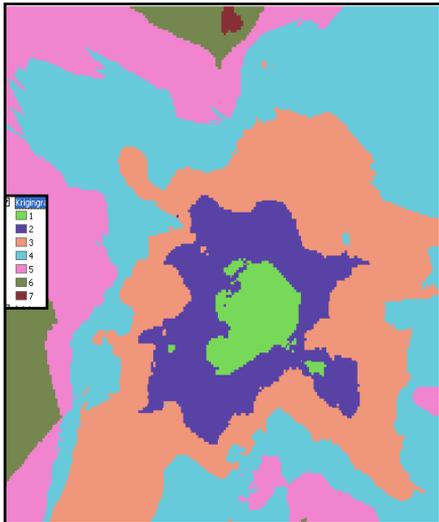
Para valorar la idoneidad de cada interpolador se consideran dos medidas estadísticas que el mismo proceso arroja: la media de los errores y la media de los errores al cuadrado, en ambos casos cuando menor es el valor mejor es el modelado, ya que los valores que se predicen se acercan a los valores muestrales (Tabla 1). Tras numerosas aplicaciones de los interpoladores, la evaluación y comparación de los resultados consideró el método Kriging Universal como mejor interpolador. Los resultados de los dos estadísticos indican que Kriging Universal presenta un mejor ajuste para la predicción ya que el error de la misma es menor respecto a IDW. Esto apoya la idea señalada anteriormente, los valores del “tiempo de viaje” se comportan de manera diferente en el espacio (anisotropía), es decir que tienen una alta variabilidad. En efecto, este método es usado principalmente cuando la variación del valor de la variable es irregular y la densidad de puntos también es irregular, ambas particularidades impiden la aplicación de métodos locales o determinísticos, por lo tanto considerar una fase previa de análisis geoestadístico que estima el valor y la dirección de la autocorrelación y permite construir un semivariograma, le otorga robustez al modelo ya que reconoce las características espaciales del valor de la variable en cuanto a su variabilidad respecto de la dirección de todos los datos existentes así el valor que adquiere la parada depende de los valores y de la dirección que toma en el conjunto de los datos.

**Tabla 1.** Estadísticos de los interpoladores

<b>Interpolador Determinístico IDW</b>	<b>Interpolador Geoestadístico Kriging Universal</b>
Mean: -0.1546	Mean: -0.03468
Root-Mean-Square: 2.031	Root-Mean-Square: 1.93

El resultado obtenido (Figura 4) permite reconocer las curvas isocronas, en este sentido, el acercamiento o la separación entre ellas, muestra las características de la variación del fenómeno en relación con la distancia, puesto que cuando estas se acercan expresan un cambio notorio del fenómeno mientras que cuando se separan el cambio es gradual. Si bien las razones de los cambios son múltiples, para ilustrar podemos citar a la congestión vehicular o el estado de la red vial.

Para completar el proceso, la superficie continua generada por el método de interpolación Kriging fue reclasificada en 7 categorías, tal como se puede apreciar en la Figura 5. Al respecto la imagen raster fue reclasificada (método manual) en función del valor del tiempo de viaje, resultando 7 clases. Al mismo tiempo y con la intención de trabajar con el modelo vectorial (puntos, líneas, polígonos), la misma imagen fue convertida al formato shape (polígonos), de este modo a cada una de las clases se le asignó el valor de las isocronas expresadas en minutos (Figura 6).



**Figura 4.** Reclasificación de la imagen. **Figura 5.** Isopletras (modelo vectorial).  
Elaboración del autor

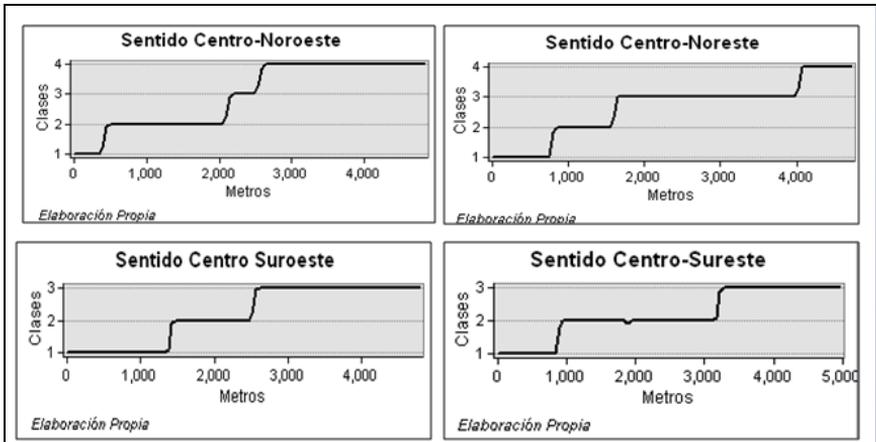
Las isopletras (polígonos) obtenidas a partir de las isolinneas (líneas) se las superpuso a la capa de centroides de población (INDEC 2001), lo cual permitió, utilizando el comando selección por localización del SIG, conocer el número de población que queda incluido en cada uno de dichos polígonos. Los resultados se expresan en la Tabla 2. De esta manera casi el 35% de la población se encuentra contenida en la clase 3, esto significa que la distancia temporal entre su lugar de residencia y el centro de la ciudad utilizando el transporte Público de Pasajeros es de 15 minutos.

**Tabla 2.** Cantidad de población según isócronas. Elaboración del autor.

Clases	Isócronas	Población Total INDEC 2001
1	5 minutos	16355
2	10 minutos	63926
3	15 minutos	91696
4	20 minutos	68242
5	25 minutos	26962
6	30 minutos	2673
7	35 minutos	S/D

Por otra parte, los gráficos de los perfiles permiten realizar una comparación rápida y efectiva del comportamiento de la variable “tiempo de viaje” en cualquier dirección según la distancia expresada en metros. Los mismos resultan del trazado de una línea cuya orientación y longitud depende directamente de lo que se quiera mostrar. En lo particular se dibujaron sobre la capa de isopletras 4 líneas rectas desde el centro y hacia la periferia con una longitud de 5 mil metros. Las mismas fueron dibujadas sobre cuatro avenidas: 25 de mayo (sentido Centro-Noroeste), Sarmiento (sentido Centro-Noreste), 9 de Julio (sentido Centro-Sureste), Alberdi (sentido Centro Suroeste).

La interpretación de los perfiles puede efectuarse de múltiples maneras, por ejemplo si consideramos los mil metros como punto de referencia se podría advertir que en el sentido Centro Suroeste (Av. Alberdi) el servicio muestra más eficiencia dado que lo recorre en 5 minutos (Clase 1), mientras que el resto de los perfiles a esa distancia lo hace en 10 minutos (Clase 2). Merece destacar la situación entre los dos mil y tres mil metros, al respecto el perfil con sentido Centro Noroeste lo hace en 10, 15 y 20 minutos (Clase 2, 3, 4, respectivamente), situación no ocurrida en los otros sentidos, lo que induce a la presencia de congestión vehicular.



**Figura 6.** Perfiles realizados sobre las Avenidas 25 de Mayo, Sarmiento, 9 de Julio y Alberdi.

## CONSIDERACIONES FINALES

Basado en la Geografía Aplicada, esta investigación ofrece una metodología para modelizar y analizar la red de transporte público, considerando su eficiencia expresada en el tiempo de viaje desde el centro a la periferia de la ciudad y su impacto en la población potencial. El valor del tiempo en los desplazamientos cotidianos determina los niveles de accesibilidad y por consiguiente de movilidad. Aquí la importancia de considerar esta variable a los efectos de elaborar propuestas tendientes a ofrecer un servicio más

eficiente, óptimo y seguro para la población. En este sentido, la tecnología GPS represento una fuente de información fiable para el SIG, dado que permitió obtener con mayor precisión las coordenadas geográficas (Latitud y Longitud) de las paradas del transporte público en el área de estudio. El cronómetro constituyó una herramienta para la identificación del tiempo de viaje en cada una de las paradas. La tecnología SIG mostró una vez más su potente capacidad para almacenar una importante cantidad de información como también las numerosas oportunidades de análisis con la información Georreferenciada. El método de interpolación Geoestadístico Kriging Universal resulto el más apropiado para estimar los valores no muestrales en el espacio, dado que el mismo implica elaborar en primer lugar un semivariograma empírico cuyos parámetros se ajusten con mejor claridad al fenómeno en estudio. Sin embargo resulta importante señalar que es un método bastante complejo matemáticamente por lo que su utilización dependerá directamente del conocimiento exhaustivo de análisis estadístico de los datos razón por la cual son más utilizados los métodos de media ponderada debido a la sencillez de su manejo e interpretación.

La cartografía de isocronas representa un insumo necesario de considerar en las tareas de ordenamiento territorial por parte de los decisores y empresarios de transporte puesto que evidencia el estado de la eficiencia del servicio, expresado en términos de costo temporal de los viajes. De este modo se supera la consideración de datos discretizados en las paradas de ómnibus, lo cual permite conocer el valor en cualquier punto de área analizada para una mejor comprensión de la información.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Bosque Sendra, J. y R.García. 2001. *Métodos de interpolación para la elaboración de un modelo digital de elevaciones*. Estudios geográficos, LXII, nº 245, 2001, pp. 605-620.
- Claret, R., C. Cabrera y L. Ramírez. 2010. *Cartografía Temática. Representaciones Cartográficas de Implantación Puntual y Lineal: elaboración mediante Sistemas de Información*

- Geográfica*. Revista Geográfica Digital. IGUNNE. Facultad de Humanidades. UNNE. Año 7. N° 14. Julio . Resistencia, Chaco.
- Dupuy, G. 1997. *El Urbanismo de las redes. Teorías y métodos*. Cap. 7: Métodos y herramientas para un urbanismo de las redes. Barcelona. Oikos-Tau.
- Escobar García, D. 2008. *Instrumentos y metodologías de planes de movilidad y transporte en las ciudades medias colombianas*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña.
- Escobar, D., F. García, L. Vázquez 2010. *Aplicación de una propuesta metodológica de Estudio de Accesibilidad Territorial para la distribución de gas natural comprimido y análisis de sus costos de transporte* Universidad Nacional de Colombia. Eighth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2010) "Innovation and Development for the Americas", Arequipa, Perú.
- García Orozco, F. 2010. *Desarrollo Metodológico para la determinación de caminos mínimos en redes de tránsito y el tiempo real utilizando técnicas de aprendizaje computacional*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.
- Herce, M. 2009. *Sobre la movilidad en la ciudad*. Cap. VI. Los planes de movilidad urbana: el marco para una nueva estrategia. Barcelona, Reverté.
- García Palomares, J. 2008. *Los desplazamientos al trabajo en la comunidad de Madrid*. Ediciones GPS Madrid.
- López Suárez E., E. Ortega Pérez y A. Condeço-Melhorado. 2009. Análisis de impactos territoriales del plan estratégico de infraestructuras y transporte 2005-2009: cohesión regional y efectos desbordamiento. En: *Aspectos territoriales del desarrollo: presente y futuro*, pp. 159-172. ICE.
- Mora Aliseda, J. 2003. *Aplicación de técnicas SIG en la Planificación del Transporte por carretera en Extremadura (España)*. En Finiserra XXXVIII, 75, pp. 67-83.
- Moreno Jiménez, A. 2006. *Sistema de Análisis de la Información Geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGIS*. Ed. RA-MA
- O'sullivan D, Morrison A, and Shearer J. 2000. *Using desktop GIS for the investigation of accessibility by public transport: An isochrone approach*. International Journal of Geographical Information Systems 14: 85-104

- Quiroz Hernández, M. 2011. *Tecnologías de La Información Geográfica (TIG), Cartografía, Fotointerpretación, Teledetección y SIG*. Ed. Universal Salamanca.
- Ramírez, M. 2003. *Cálculos de medidas de accesibilidad geográfica, temporal y económicas generadas mediante Sistemas de Información Geográfica*. En Primer Congreso de la Ciencia Geográfica y VIII Semana Nacional de Cartografía, Bs. As. 25-27.
- Ramírez, M. 2009. *Planificación territorial sanitaria y Sistemas de Información Geográfica: una aproximación al conocimiento de la accesibilidad de la población a los equipamientos hospitalarios y de la localización óptima de hospitales públicos en la Provincia del Chaco*. 1<sup>o</sup> Edición. Resistencia: Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Humanidades. ISBN 978-950-656-123-9.
- Redondo, J. 2003. *Estudio de Accesibilidad y Cobertura de la red de asistencia sanitaria de la comunidad de Madrid*. En Boletín de estrategia de la Conserjería de Sanidad para la utilización de Sistemas de Información Geográfica, en la administración, la planificación y el análisis sanitario.
- Seguí Pons, J. y Martínez Reynés, M. 2004. *Geografía de los Transportes*. Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears.

# Análisis espacio-temporal



# PROCEDIMIENTOS CUANTITATIVOS VIGENTES PARA EL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE SERIES DE TIEMPO GEOGRÁFICAS

*Arnobio German Poblete*

## **INTRODUCCIÓN**

EN LA GEOGRAFÍA MODERNA se hace imperioso contar con metodologías objetivas capaces de brindar un arsenal de herramientas estadísticas precisas y de adecuada versatilidad, para ser aplicadas en los distintos campos de dicha ciencia tales como: geografía física, económica, humana y peligros ambientales, entre otras. La aplicación de las mismas se ve facilitada por la gran disponibilidad de recursos informáticos y computacionales, que hacen posible su inmediata implementación (Haggett 1976).

Muchas series temporales de variables geográficas presentan complejidades que no permiten visualizar con precisión su estructura con el fin de explicitar el patrón subyacente en las mismas, imprescindible para realizar diagnósticos y pronósticos (Gaile y Willmott 2005).

Una serie temporal geográfica está constituida por ciclos, cuasi-periodicidades, inconstancia en su promedio y/o tendencia, saltos abruptos, entre otros componentes. La identificación de regularidades en dichas oscilaciones es fundamental para realizar previsiones y/o pronósticos. Por otra parte, el impacto que pueden tener los cambios abruptos en la sociedad, son de un grado superlativo frente a las otras formas de cambio que se manifiestan gradualmente, lo que permite disponer del tiempo suficiente para implementar medidas de prevención, adaptación y/o mitigación, por lo que resulta imperioso determinar o identificar las cuasi-periodicidades y cambios abruptos que, por su naturaleza repercuten fuertemente en el ámbito socioeconómico y ambiental, (Hammond, Mc Cullagh 1974) (Grupo Chadule 2000).

De esta manera, en el ámbito de la Geografía existen variables que pueden presentar series temporales similares a las descriptas, tales como variables climáticas, producción agropecuaria, exportación, importación, balanza de pagos, variables demográficas, crecimiento urbano y flujos interregionales entre otras. En varias de ellas resulta fundamental determinar o identificar ciclos, cambios bruscos que, como se dijo, por su naturaleza repercuten fuertemente en el espacio geográfico y ámbito socioeconómico. Para la detección de periodicidades, tradicionalmente se implementó el análisis espectral, aplicado a toda la serie, sin embargo en la actualidad se han impuesto las llamadas Wavelet, que tienen la ventaja de discriminar la dominancia de algún ciclo específico en un periodo dado, (Edbon 2002).

En este capítulo, se describen sucintamente las metodologías más relevantes de las vigentes en los ámbitos geográficos y climatológicos mundiales y que han sido probados exitosamente en diversos trabajos realizados por el autor, las mismas son: Wavelet, Change Point, y Break Regression exponiendo algunos resultados de su aplicación.

## **DESARROLLO Y DISCUSIÓN**

### **Transformada Wavelet**

La transformada Wavelet es una herramienta matemática que permite la descomposición de series temporales no estacionarias. Aporta simultáneamente información temporal y espectral de las mismas. Por ello es más útil que el análisis de Fourier, la herramienta clásica para la detección de ciclos significativos, ya que éste proporciona solo la información espectral de la totalidad de cada serie, que además debe ser estacionaria.

De todos los procedimientos incluidos dentro de esta metodología, se cree conveniente exponer sobre la coherencia entre series, muy útil en Geografía para analizar la banda de frecuencias asociadas entre sí en la trayectoria de un predictando y un predictor, semejante al que se realiza con el análisis de correlación. El procedimiento más eficaz para valuar la coherencia entre dos series

de tiempo con el objeto de identificar los periodos en los que muestran ciclos semejantes comunes, es la transformada Wavelet (WT) utilizada para analizar series de tiempo identificando la cantidad de varianza que contienen las diversas frecuencias no estacionarias (Kumar, Foufoula-Georgiou 1997). La WT continua (CWT) de dos series de tiempo es su convolución con las funciones de base locales, o Wavelets, que se pueden ampliar o reducir con la resolución flexible tanto en la frecuencia como en el tiempo, (Torrence and Compo 1998). Para el análisis de la covarianza de dos series de tiempo de acuerdo con (Grinsted et. al. 2004), se define el espectro de poder Wavelet cruzado de dos series X e Y con sus respectivas transformadas Wavelet  $W_x$  y  $W_y$  como:

$$W_{XY}(s,t) = W_x(s,t)W_y^*(s,t), \quad (1)$$

donde el asterisco denota complejo conjugado.

Por otra parte, se define la potencia cruzada Wavelet como  $|W_{XY}(s,t)|$ . El ángulo de fase de  $W_{xy}$  describe la relación de ésta entre X e Y en el espacio tiempo-frecuencia. La significación estadística se estima contrastándolo con un modelo de ruido rojo (Grinsted et. al. 2004). Como interesa valuar la diferencia de fase entre las componentes de las dos series de tiempo necesarias para estimar el intervalo de confianza de la media y la diferencia de ésta, se calcula el ángulo de confianza del 95% de la fase media asumiendo una distribución de Von Mises (Zar 1999), la transmisión de la misma está caracterizada por un parámetro, k, que define el campo de fase local con respecto a la calidad de la información. Para k pequeños, las fases tienden a una distribución uniforme y para k grandes a una distribución normal con varianza  $1/k$ . Este es un método general útil para el cálculo de la significación de los ángulos de fase para las series de tiempo utilizadas.

La coherencia Wavelet es una medida de la intensidad de la covarianza de las dos series en el espacio tiempo-frecuencia, a diferencia del espectro Wavelet cruzado, que es una medida de la potencia común entre ambas. Con el enfoque de (Torrence y Webster 1999), se define la coherencia como:

$$R^2(s,t) = \frac{|S(s^{-1}W_{XY}(s,t))|^2}{S(s^{-1}|W_X(s,t)|^2) \cdot S(s^{-1}|W_Y(s,t)|^2)}, \quad (2)$$

donde S es un operador de suavizado. Las escalas de tiempo y frecuencia en la que S es suavizado definen la escala en que la coherencia mide la covarianza. Se escribe el operador de suavizado S como:

$$S(W) = S_{scale}(S_{time}(W(s,t))) \quad (3)$$

Donde  $S_{scale}$  denota el suavizado a lo largo del eje de escala Wavelet y  $S_{time}$  es el suavizado en el tiempo.

La forma natural de diseñar el operador de suavizado para la Wavelet de Morlet está dada por (Torrence and Webster 1999):

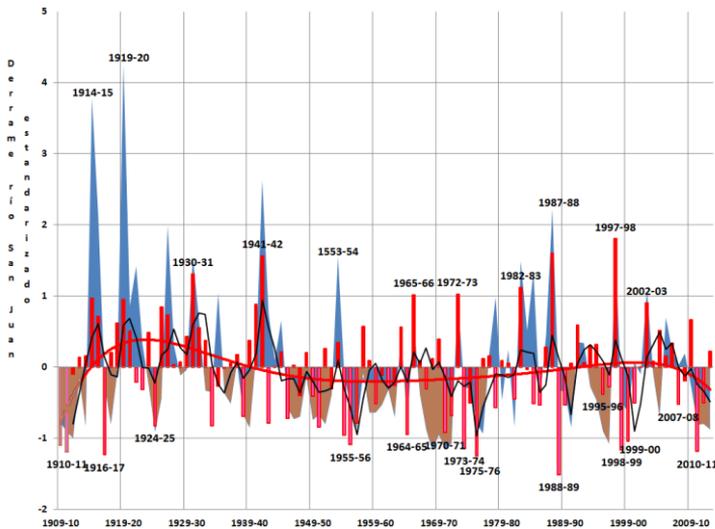
$$\begin{aligned} S_{time}(W)|_s &= \left( W(t,s) * c_1 e^{\frac{-t^2}{2s^2}} \right) |_s \\ S_{scale}(W)|_t &= \left( W(t,s) * c_2 \prod (0.6s) \right) |_t \end{aligned} \quad (4)-(5)$$

Donde  $C_1$  y  $C_2$  son constantes de normalización  $\pi$  es la función rectángulo. El factor 0,6 es la longitud de la escala de descorrelación empíricamente determinada para la Wavelet de Morlet.

Torrence C. and Webster P. (1999) estiman los niveles de significación de la coherencia versus un modelo de ruido blanco, pero en este capítulo se usan los métodos de Monte Carlo con ruido rojo para determinar el nivel de significación estadística de la coherencia al 5%. Pruebas empíricas indican que el color del ruido (determinado por los coeficientes autorregresivos de primer orden de las dos series de tiempo originales) no tienen ninguna influencia en la magnitud de la coherencia correspondiente al nivel de significación 5%, mientras que los detalles del operador de suavizado sí. Además, el estadístico del nivel de significación del 5% de la coherencia parece ser constante (aprox. 0,78) en todas las escalas, excepto donde se ve influida por  $S_{scale}$  por el dominio de los bordes.

La diferencia entre los ángulos de fase están determinados esencialmente por la Wavelet cruzada y los métodos de la

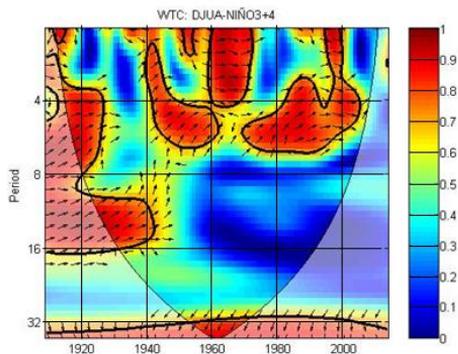
coherencia. Las características más deseables de la WTC es que tiene que ser un poco menos localizada en el espacio de tiempo-frecuencia. El nivel de significación de la WTC se ha determinado utilizando métodos de Monte Carlo, (Grinsted et. al. 2004). (Jevrejeva et. al. 2003). (Moore and Grinsted 2003).



**Figura 1.** Derrame Anual del río San Juan (DJUA) - azul=superávit, marrón= déficit- y SSTN34, estandarizados,(barras rojas) sus oscilaciones en las ondas largas (low pass) -curva roja- y de más altas frecuencias (medias móviles de 3 años); y los períodos correspondientes a los más relevantes “Niños”(barras rojas) y “Niñas”(barras fucsia).

## Ejemplo de aplicación

Coherencia Wavelet entre el derrame anual del río San Juan (DJUA) y las temperaturas superficiales del mar (SST) en el área Niño 3+4 (SSTN3+4). A continuación se valúa el comportamiento temporal conjunto de DJUA y SSTN3+4.



**Figura 2.** Coherencia Wavelet cuadrada entre el DJUA y SSTN34. El nivel de significación del 5% frente al ruido rojo, se muestra como un contorno grueso y se ha determinado utilizando métodos de Monte Carlo.

La Figura 2 muestra la coherencia WTC entre los DJUA y las SSTN3+4, en el período 1909-2012. El cono de influencia significativo está limitado por una línea delgada, mientras que la negra gruesa representa los contornos de unidades de varianza al nivel de significación del 5% para cada realización frecuencia-tiempo, utilizando el modelo de ruido rojo; los vectores indican la diferencia de fase entre el DJUA y SSTN3+4 (una flecha horizontal orientada de izquierda a derecha significa en fase y la que apunta verticalmente hacia arriba señala que la segunda tiene un ángulo de  $90^\circ$  con la primera, es decir, el ángulo de fase es  $270^\circ$ ). La región significativa es tan extensa que es muy poco probable que se trate de una casualidad. Oscilaciones de SSTN3+4 se manifiestan en el DJUA en longitudes de onda variando entre 4 y 8 años, lo que sugiere que éste refleja pasivamente a las SSTN3+4, en especial al inicio y final de la serie, esta se visualiza en la figura 1 que muestra la variabilidad de los DJUA tanto en las altas como en las bajas frecuencias. Es notable el contraste de la significación de la coherencia en la longitud de onda de 8 a 16 años en el periodo 1909-1945 y el de la coherencia nula en el periodo 1946 hasta la actualidad, lo que indicaría que la incidencia de las SSTN3+4 sobre el DJUA no estarían asociadas en ese nivel de frecuencia. Sin embargo en lapsos mayores

a los 32 años la coherencia significativa es continua y en anti-fase en el entorno de 1960, lo que explicaría en parte su escasa contribución en las nevadas agudizando el lapso más seco registrado en los Andes Áridos en el periodo que abarca este estudio.

### **Método para detección de cambios abruptos en la media: Change Point.**

El análisis Change Point (CP) es una nueva herramienta para determinar si ha ocurrido un cambio abrupto en una serie temporal. Es capaz de descubrir variaciones sutiles ignoradas por el control visual. Además caracteriza los cambios identificados, calculando niveles e intervalos de confianza, proporcionando de esa manera una información extensa que se puede usar como complemento del análisis gráfico. Como evalúa los datos históricos, el CP lo supera, sobre todo cuando son numerosos; puesto que caracteriza los cambios, controla la proporción del error global, es sensible para la detección de outliers, más flexible y simple de usar (Mantua 2004).

Procedimiento: Los pasos usados por (Taylor 2000a) para efectuar un análisis iterativo de CP, consiste en realizar una combinación de gráficos de la suma acumulativa (CUSUM)-ver figura 3- y la aplicación de un “bootstrapping” o bootstrap, que es un método de re-muestreo que se utiliza para aproximar una distribución a la muestra de un estadístico. Se usa frecuentemente para ajustar el sesgo o la varianza del mismo, así como para construir intervalos de confianza o realizar contrastes de hipótesis sobre parámetros de interés. En la mayor parte de los casos no pueden obtenerse expresiones cerradas para las aproximaciones bootstrap y por lo tanto es necesario lograr otras re-muestras mediante un procedimiento informático. Este procedimiento requiere una gran iteratividad (Taylor 2000b). La idea de la bootstrap es utilizar los datos para imitar la función de distribución desconocida, que ahora se sustituye por la función de distribución empírica. Imitando el proceso de generación de datos se logra mediante la elaboración de muestras al azar desde conjunto de datos reales.

Para identificar y valorar los cambios con el procedimiento descrito, se comienza con la construcción de un gráfico CUSUM- ver figura 3-. Dicho gráfico es elaborado calculando y trazando la suma acumulativa basada en lo datos originales, como se muestra a continuación:

Sea la serie  $x_1, x_2, \dots, x_N$  que representa los N puntos de los datos.

De estos, se calculan las sumas acumulativas:  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_N$ , como sigue:

1. Primero se calcula el promedio:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_N}{N} \quad (6)$$

2. La suma acumulativa del cero es  $S_0 = 0$ .

3. Se computan las restantes sumas acumulativas agregando la diferencia entre el valor actual y el promedio de la suma anterior a él, es decir:

$$S_i = S_{i-1} + (x_i - \bar{X}) \text{ para } i = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Las sumas acumulativas no son las mismas que la de los valores originales, sino las homólogas de las diferencias entre ellas y el promedio. Estas, sumadas deben ser cero para que la suma acumulativa correspondiente también sea cero ( $S_N = 0$ ).

Para interpretar un gráfico CUSUM se debe realizar lo siguiente: sea un período de tiempo en que los valores tienden a ser menores al promedio global. En este caso, la mayoría de los datos que se agreguen harán que la suma acumulativa sea positiva y en aumento constante, luego un segmento del gráfico tendrá una pendiente ascendente que describe un período dónde los valores tienden a ser mayores que el promedio global. Igualmente un intervalo con una pendiente descendente indica un lapso de tiempo dónde los valores tienden a estar debajo del mismo. Una variación súbita en la

dirección del gráfico, exterioriza un cambio brusco en la media. Los períodos dónde el CUSUM sigue un camino relativamente recto señalan un lapso dónde la media no cambia (ver Figura 3) (Taylor 2000b).

El problema de dichos gráficos, es que requieren considerable habilidad para interpretarlos correctamente ¿Cómo se puede estar seguro que estos cambios tuvieron lugar?. Para ello se necesita determinar un nivel de confianza para que el mismo quede claramente identificado, para lo cual se debe realizar un análisis de “bootstrap”. Antes de ejecutarlo, se precisa un estimador de la magnitud del cambio. Una opción para lograrlo es la llamada “Sdiff” que se calcula correctamente sin tener en cuenta la distribución, a pesar de presentar cambios múltiples, y se define como:

$$S_{diff} = S_{\max} - S_{\min} \quad (8) \quad \text{donde}$$

$$S_{\max} = \max_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (8a)$$

$$S_{\min} = \min_{i=0, \dots, N} (S_i) \quad (8b)$$

Donde Smax es la mayor de todas las sumas acumuladas y Smin la menor.

Una vez que se ha seleccionado el estimador de la magnitud del cambio, puede realizarse el análisis bootstrap. Para un solo cambio, se opera de la siguiente manera:

1.- Se genera una muestra de bootstrap de N unidades  $X_1^0, X_2^0, \dots, X_N^0$ , resultando N valores al azar. A esto se le llama muestreo sin reemplazamiento.

2.- Basado en la muestra obtenida, se calcula el bootstrap del CUSUM y se lo denota:  $S_1^0, S_2^0, \dots, S_N^0$ .

3.- Se calcula el máximo, mínimo y diferencia del bootstrap CUSUM llamados respectivamente:  $S_{\max}^0, S_{\min}^0, \dots, S_{diff}^0$

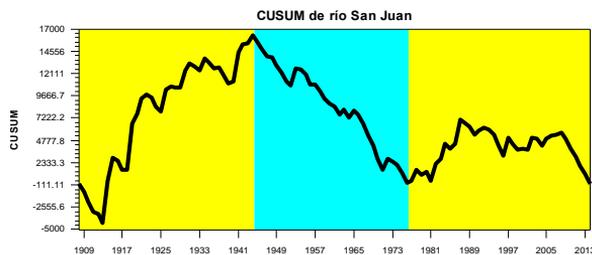
4.- Se determina si la diferencia bootstrap  $S_{diff}^0$  es menor que la original  $S_{diff}$

La idea de ejecutar el bootstrap es que las muestras generadas por dicho procedimiento (“sample – bootstrap”) representan el reordenamiento aleatorio de los datos que imitan la conducta del CUSUM, si no ha ocurrido ningún salto. Realizando un gran número de muestras bootstrap, se puede estimar cuántos “Sdiff” habrían si no tuvo lugar ningún cambio. De esta manera, se puede comparar con el valor de Sdiff calculado a partir de los datos en su orden original para determinar si este valor es consistente con que no se haya producido algún cambio, (Taylor, 1980b).

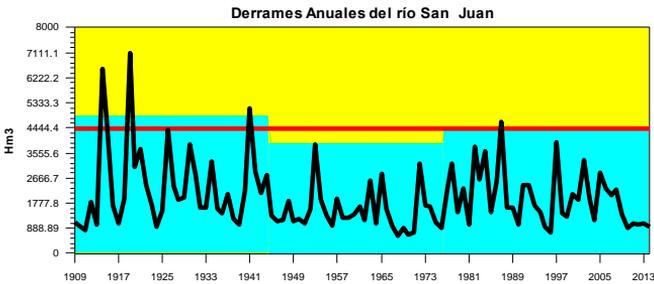
Otra metodología que realiza la misma detección de un salto abrupto es el llamado Regime Shift Detection (Detección de un cambio de régimen-RSI-), implementado por (Rodionov 2004). También implementado satisfactoriamente por el autor.

### Ejemplo de aplicación

A este método el autor lo aplicó para el análisis de cambios abruptos en los DJUA.



**Figura 3.** Grafico correspondiente a la suma acumulada (CUSUM).El área celeste muestra las fechas en que se produjeron posibles puntos de cambio.



**Figura 4:** Análisis de Puntos de cambio para la serie temporal de los caudales del río San Juan desde 1909-2014.

**Cuadro 1:** Cambios significativos encontrados en la serie temporal del río San Juan. Con un intervalo de confianza del 95%. Bootstraps =1000 sin reemplazamiento.

Año	Intervalos de confianza	N. conf.	Desde	Hasta	Nivel
1945	(1910, 1951)	100%	2450	1493.8	1
1977	(1960, 2013)	97%	1493.8	1995.7	2

La Figura 3 y el Cuadro 1 muestran el resultado de la aplicación CP descripta. Se puede apreciar que los puntos de cambio detectados ocurren en los años 1945 y 1977.

En 1945 el derrame medio anual del Río San Juan decreció de 2450 Hm3 a 1493.8 Hm3 (-39%) con un nivel de confianza del 100%, mientras que en 1977 la media se incrementa de 1493.8 Hm3 a 1995.7 Hm3 (+25%) con un nivel de confianza del 97%. Como se advierte, este valor de la media no alcanza al que tenía en 1945 (hay una diferencia del 14%). Cabe destacar que el periodo 1945-1977 es detectado en diversas variables climáticas e hidroclimáticas a nivel global y regional, estudiadas por el autor (Poblete *et. al.* 2008), por lo cual, gran parte de su investigación se orientará a identificar los forzantes de la escala planetaria y hemisférica que produjeron los cambios de régimen en dichos años.

## Prueba para detectar cambios en la pendiente de una recta de regresión de una serie temporal: Test de Break Regression (BR)

Se ha convertido en un lugar común llamar a un sistema como "no lineal" y describir un punto de cambio rápido como "abrupto", (Pettitt 1979) (Oerlemans 1978). Evidentemente, los cambios "bruscos" pueden ocurrir en el climático, geográfico, financiero, y también económico, entre otros. La descomposición "clásica" de un proceso estocástico, continuo en el tiempo,  $x(t)$ , se puede expresar de la siguiente manera:

$$X(T) = X_{trend}(T) + S(T) * X_{noise}(T). \quad (9)$$

$X$  es una variable aleatoria;  $T$  es el tiempo;  $X_{trend}(T)$  es la componente de tendencia,  $S(T)$  es la desviación estándar y la componente de ruido  $X_{noise}(T)$ .

El procedimiento de las regresiones de ruptura (Break Regression -BR-) consiste en calcularlas punto a punto durante un corrimiento sobre toda la serie temporal, y en cada uno de ellos aplicar un test de significación de sus tendencias. Cuando ésta es significativa en un punto dado se lo considera como un cambio abrupto de la recta de regresión, (Mudelsee 2009). La regresión de ruptura es una función continua que consta de dos partes lineales. Es un modelo regresivo para los cambios de tendencia en las series temporales. Se calcula mediante la combinación de algoritmos propios de los mínimos cuadrados ponderados. Para determinar los intervalos de confianza de los parámetros del modelo de ruptura se utiliza el remuestreo bootstrap autorregresivo, ya descrito.

El BR está incluido dentro de la llamada Regresión Segmentada (Piecewise Regression -PR-) que identifica "puntos de ruptura" ('breakpoints'), donde hay claramente dos o más relaciones lineales diferentes en los datos con un brusco cambio repentino en la direccionalidad.

A continuación se describe sucintamente, el procedimiento de cálculo de la BR, cuyos algoritmos para un tiempo continuo son:

$$X_{trend}(T) = X_{break}(T) = \begin{cases} x_1 + \frac{(T-t_1)(x_2-x_1)}{(t_2-t_1)} & T \leq t_2 \\ 2x_2 + \frac{(T-t_2)(x_3-x_2)}{(t_3-t_2)} & \text{para } T > 2 \end{cases} \quad (10)$$

Donde  $X_{break}(T)$  es el punto de ruptura poblacional de la tendencia  $X_{trend}(T)$ .

Como se ve, en el algoritmo (10) tiene cuatro parámetros libres:  $x_1$ ,  $t_2$ ,  $x_2$  y  $x_3$ . Donde  $x_i$  son realizaciones de las serie en los tiempos  $t_i$ , con  $i=1,2,3...$

Una formulación alternativa incluiría los siguientes parámetros:  $t_2$ ,  $x_2$ ,  $\beta_1 = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1)$  y  $\beta_2 = (x_3 - x_2) / (t_3 - t_2)$ . Con  $\beta_i$  la pendiente de la recta  $i$ . La ruptura (break) describe un cambio en la tendencia lineal en un punto  $(t_2, x_2)$ , a partir de las pendientes  $\beta_1$  a  $\beta_2$  correspondientes a las rectas anteriores y posteriores al quiebre.

Asumiendo que la desviación estándar  $S(i)$  mide la variabilidad, el modelo de ruptura se ajusta mediante la minimización de la siguiente suma de mínimos cuadrados ponderada:

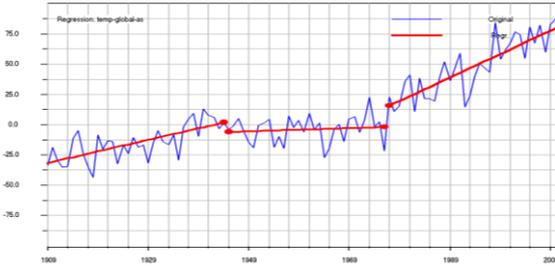
$$SSQW(x_1, t_2, x_2, x_3) = \sum_{i=1}^n \frac{[x(i) - x_{break}(1)]^2}{S(i)^2} \quad (11)$$

Donde  $x_{break}(i)$  es la versión muestral en tiempo discreto de  $X_{break}(T)$  poblacional (Ec. (9)) (Mudelsee 2009).

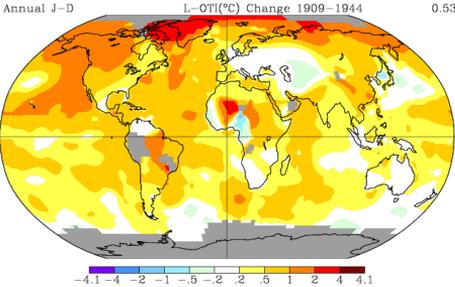
Debido a que se supone que la ruptura o quiebre es una descripción adecuada sobre toda la longitud de registros en el intervalo limitado por  $t_1$  y  $t_3$ , sólo un punto del tiempo, a saber:  $t_2 = t(i_2)$ , con  $i_2$  un número entero entre 1 y  $n$ , es considerado como candidato para el corte ( $t_2$ ). Si se confirma, indica un cambio de significación de la pendiente de la recta de regresión. (Yonetani 1993).

### **Ejemplo de aplicación**

Para ilustrar el método descripto, se muestra la detección por medio del BR de los tres ritmos de crecimiento de la temperatura global (TG).

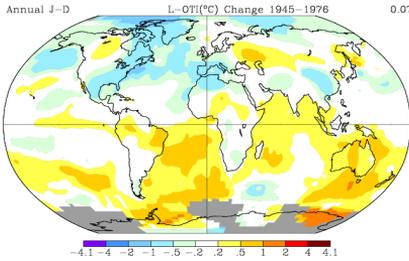


**Figura 5.** Puntos de cambios en la tendencia de la recta de regresión lineal detectados con el procedimiento Break-Regression en la marcha interanual de la temperatura global.

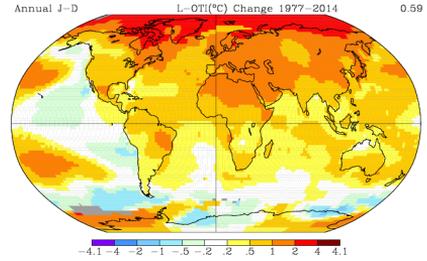


**Figura 6.** Calentamiento Global (CG), en el primer periodo detectado por la BR: 1909-1944

En la Figura 5 se observan los intervalos en los que se produjeron cambios significativos en la TG: 1909-1944, 1945-1976, 1977-2012. Desde 1909 hasta 1944 tuvo un crecimiento moderado, entre 1945 y 1976 se estabilizó, mientras que desde 1977 registró una fuerte aceleración. Esto induce a investigar los forzantes que podrían haber intervenido para que esos cambios de ritmos se produzcan. Para corroborar lo encontrado con el método BR, se decide analizar el comportamiento espacial de la temperatura global estimada por la NASA que se muestra en las Figuras 6, 7 y 8.



**Figura 7.** Calentamiento Global (CG), en el segundo periodo detectado por la BR: 1945-1976.



**Figura 8.** Calentamiento Global (CG), en el tercer periodo detectado por la BR: 1977-2014.

Los periodos de cambios de ritmo de crecimiento de la TG encontrados con el método BR, se confirman en las Figuras 6, 7 y 8. En la primera se nota, un calentamiento moderado y no homogéneo, puesto que hay regiones neutras como: Eurasia, norte de Sudamérica, gran parte de Australia; y otras con enfriamiento como Nueva Guinea, entorno del Mar Caspio, Corea y Japón. Lo que verificaría el aumento moderado en el periodo 1909-1944. En la figura 7, se aprecia una tierra con tendencia al enfriamiento, en especial, en el hemisferio Norte, otras neutras y un leve calentamiento en los océanos Atlántico Sur e Índico, Australia y mares adyacentes. El índice 0.07 confirma la estabilidad mostrada en el Figura 5.

La Figura 8, muestra una tierra que en la mayor parte de su superficie tiene un significativo calentamiento especialmente en el Ártico, Eurasia salvo península Ibérica, India y China (con calentamiento moderado), Nordeste de Brasil y Antártida occidental. Esta figura muestra la aceleración del CG desde 1977 hasta la actualidad, y que el método BR fue capaz de identificarlo y describirlo.

## CONCLUSIONES

Como se demostró, las técnicas descritas brindan un arsenal de herramientas estadísticas sofisticadas, precisas y de adecuada

versatilidad para ser aplicadas en los distintos campos de la geografía tales como: climatología, hidrografía, geografía económica, humana, médica, de ordenamiento territorial, de riesgos y peligros ambientales, entre otras. Aportando objetividad a la investigación geográfica, dada las falencias y, en numerosos casos, ausencias de metodologías cuantitativas en varios de los trabajos que se publican en diversas revistas editadas en nuestro país y el extranjero; por lo que resulta imperioso implementar las mismas, tarea que se ve facilitada por la gran disponibilidad de recursos informáticos y computacionales, que hacen posible su aplicación en las distintas ramas nombradas, lo que se complementa satisfactoriamente al contar en el presente con un fácil y actualizado acceso a software y datos vía internet.

De los tres métodos descriptos, el que resulta más novedoso y útil es el de Break Regression, ya que permite identificar con precisión los ritmos de crecimiento de las distintas series temporales surgidas del análisis implementado, en cada uno de los enfoques citados.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a las siguientes instituciones y proyectos por sus aportes económicos para el desarrollo de este trabajo: ANCYT, PICTO- UNSJ-2009-0150-BID; Universidad Nacional de San Juan: Proyecto: “Análisis Climatológico-dinámico de la Crisis Hídrica de los últimos años en Cuyo y Chile Central en el Contexto del Cambio Climático Global”. Cod. 18/14-CS-UNSJ. CICITCA. Laboratorio Climatológico Sudamericano sede NOAA, Secretaría de Energía por los datos proporcionados para esta investigación. NCEP/NCAR y la NOAA por los datos del Reanalysis y su tratamiento.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Edbon, D. 2002. *Estadística para Geógrafos*. Oikos-Tau Barcelona.  
Grinsted, A., J.C. Moore, y S. Jevrejeva. 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Processes in Geophysics* 11: 561-566.

- Grupo Chadule. 2000. *Métodos estadísticos en Geografía*. Ed. El Cano, Madrid.
- Haggett, P. 1992 [1976]. *Análisis Locacional en la Geografía Humana*. Ed. Gili S.A., Barcelona.
- Hair, J.J., R.E. Anderson, R.L. Tatham, y W.C. Black. 2001. *Multivariate Data Analysis*. Maxwell MacMillan, New York.
- Hammond, R. y P. Mc Cullagh. 1974. *Técnicas Cuantitativas en Geografía*. Editorial Saltes, Madrid.
- Jevrejeva, S., J.C. Moore, y A. Grinsted. 2003. *Influence of the Arctic Oscillation and El Niño-Southern Oscillation, Arctic Centre*. University of Lapland, Rovaniemi, Finland.
- Kumar, P. y E. Foufoula-Georgiou. 1997. Wavelet Analysis for Geophysical Applications. En *Reviews of Geophysics*: 385– 412. Academic Press, California.
- Mantua, N.J. 2004. Methods for detecting regime shifts in large marine ecosystems: a review with approaches applied to North Pacific data. *Progress in Oceanography* 60: 165-182.
- Moore, J.C. y A. Grinstead. 2003. El Niño o-Southern Oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: The wavelet approach. *Journal of Geophysical Research* 108 D21 ADL10:1-10.
- Mudelsee, M. 2009. Break function regression. A tool for quantifying trend changes in climate time series. *Eur. Phys. J. Special Topics* 174: 49–63.
- Oerlemans, J. 1978. An objective approach to breaks in the weather. *Mon.Wea.Rev.* 106: 1672-1679.
- Pettitt, A.N. 1979. A nonparametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics* 28: 126-135.
- Rodionov, S. 2004. A sequential algorithm for testing climate regime shifts. *Geophysical Research Letters* 31: L09204.
- Solow, A.R. y A.R. Beet. 2005. A test for a regime shift. *Fisheries Oceanography* 14: 236-240.
- Taylor, W. 2000a. *Change-Point Analyzer 2.0 shareware program*. Taylor Enterprises, Libertyville, Illinois. Disponible en: <http://www.variation.com/cpa>.
- Taylor, W. 2000b. *A Pattern Test for Distinguishing Between Autoregressive and Mea*. Disponible en: <http://www.variation.com/files/articles/pattern.pdf>
- Torrence, C. y G.P. Compo. 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 79: 61-78

- Torrence, C. y P.J. Webster. 1998. The Annual Cycle of Persistence in the El Niño-Southern Oscillation. *Q. J. Roy. Met. Soc.* 124: 1985-2004.
- Gaile, G.L. y C. Willmott. 2005. *Spatial Statistics and Models*. Ed. Springer, New York.
- Yamamoto, R., T. Iwashima y N.K. Sange. 1986. An analysis of climate jump. *J. Meteorol. Soc. Jap.* 64: 273-281.
- Yonetani, T. 1993. Detection of long term trend, cyclic variation and step like change by the Lepage test. *J. Meteorol. Soc. Jap.* 71: 415-418.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. 2nd ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

# APLICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN DE CRECIMIENTO URBANO

*Santiago Linares*

## **PERSPECTIVAS SOBRE LA MODELIZACIÓN DEL ESPACIO URBANO**

EL USO DE MODELOS en la investigación urbana se remonta al modelo clásico de localización agrícola de von Thünen, publicado en su famoso libro *Der Isolierte Staat* (1826). En él, este autor considera la relación de tres factores: la distancia de los agricultores al mercado, los precios recibidos por los agricultores por sus productos y la renta de la tierra. Sobre la base de un análisis econométrico de los Estados de Mecklemburgo en el Norte de Alemania, el autor argumenta que la intensidad del uso de la tierra era inversamente proporcional al costo de transporte o a la distancia del mercado. En un *estado aislado* con un solo centro de la ciudad como mercado único y una llanura uniforme que rodea la ciudad, se genera un patrón concéntrico de uso de la tierra con el menor uso intensivo de ésta situada lo más lejos del centro de la ciudad (Henshall 1967).

Los posteriores modelos sobre el desarrollo urbano se encuentran muy relacionados con el modelo de von Thünen. Pero específicamente orientados a la estructura urbana interna, podemos afirmar que, sin duda, existe una clara inflexión a partir de los modelos clásicos sobre el crecimiento y patrones de uso del suelo de Burgess (1925), quién publica el modelo de los anillos concéntricos; posteriormente Hoyt (1939) que plantea el modelo de los sectores y, Harris y Ullman (1945) quienes formulan el modelo de los núcleos múltiples. Estos modelos tienen como factor común que se basaron en la comprensión del desarrollo urbano desde el distrito central de negocios (CDB) hacia el exterior.

No obstante, el uso generalizado de modelos en Geografía urbana se produjo durante el período de la denominada *revolución*

*cuantitativa*, que se inició a finales de 1950 y se extendió hasta finales de 1960. Este desarrollo proviene casi exclusivamente desde los Estados Unidos, como resultado de necesidades prácticas coyunturales y del surgimiento de novedosas aplicaciones informáticas. Entre las necesidades prácticas existió un aumento descomunal de automóviles en circulación durante la década de 1940 y principios de 1950, que llevó a que aquellas ciudades encorsetadas en sus estructuras físicas tradicionales, no soportaran la nueva movilidad de sus habitantes. Así, se sentaron las bases para el desarrollo de varios modelos de transporte que fueron consolidándose hacia finales de 1950. Posteriormente, el desarrollo de la informática profundizó esta tendencia al proporcionar un entorno digital para trabajar con modelos matemáticos complejos. Durante este período, una gran variedad de tipos de modelos urbanos se desarrollaron, siendo los temas de aplicación más frecuentes el uso del suelo, el transporte, la población y actividades económicas urbanas. Estos modelos fueron considerados por los planificadores como laboratorios artificiales para experimentar con estructuras urbanas reales (Dyckman 1963).

El énfasis de estos modelos estuvo tradicionalmente orientado a la sofisticación técnica del modelado y no a sus fundamentos teóricos, razón por la cual fueron seriamente criticados a finales de 1970 llevando a un cambio radical sobre el abordaje del desarrollo urbano y pasando de un uso intensivo de modelos matemáticos a análisis fundamentalmente cualitativos. Esta tradición se mantuvo hasta fines de 1980, cuando los enfoques desde la complejidad van a proporcionar alternativas prácticas de entender y estudiar a las ciudades como sistemas evolutivos y emergentes, superando la simplicidad que caracterizaba a la modelización urbana tradicional (Allen 1997).

El desarrollo de Sistemas de Información Geográfica (SIG), su integración con las modelizaciones urbanas preexistentes, las nuevas fuentes de datos y las innovaciones en las técnicas de análisis, han llevado a la tradición de modelos urbanos hacia un nuevo y renovado estadio en proceso de investigación y evaluación.

## COMPLEJIDADES TEÓRICAS Y ADAPTACIONES TECNOLÓGICAS PARA MODELIZAR EL ESPACIO URBANO

Si bien a partir de la Teoría General de los Sistemas se logró modelizar con gran eficacia el comportamiento de gran cantidad de fenómenos urbanos, se mostraba también cierta insuficiencia ante circunstancias recurrentes en los estudios de dichos procesos signados por la incertidumbre y la imprecisión que caracteriza a lo social. A partir de la década de 1980, los desarrollos científicos sobre sistemas complejos no-lineales, caóticos y auto-organizados han dado lugar a nuevas formas de interpretar y analizar las ciudades y su desarrollo, contribuyendo a considerables mejoras en la modelización del espacio urbano contemporáneo (Wilson 1981; Batty y Longley 1994; Allen 1997). Estos estudios han permitido comprender el desarrollo urbano como un proceso irregular, resultante de las tensiones propias de un sistema abierto sujeto a decisiones internas y externas, donde tienen predominancia las configuraciones no-euclidianas y las conjunciones entre el espacio y el tiempo (Buzai y Baxendale, 2006).

### **Caos, complejidad y auto-organización del espacio urbano**

El concepto de Caos comenzó a desarrollarse por Edward Lorentz, en la década del 60 quien verificó que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales de un sistema podían traducirse rápidamente en significativas diferencias en el resultado. Este fenómeno recibió el nombre de *dependencia sensible de las condiciones iniciales*. Lorentz observaba que, en un dominio dado, un fenómeno presentaba repeticiones que nunca eran perfectamente iguales, pero había un patrón, es decir, un *orden del desorden*. En busca de explicaciones para este *orden del desorden*, surgen en la década de 1970 estudios que fueron constituyendo la *Teoría del Caos*.

En este contexto, los trabajos realizados en la Escuela de Bruselas han producido resultados importantes sobre los sistemas físicos y químicos que se aplican también a los modelos urbanos. La idea principal desde esta óptica es que: para un sistema abierto

donde hay un intercambio instantáneo de materia y energía con su entorno, el flujo de energía o material podría llevar al sistema a un estado "lejos del equilibrio" (Prigogine y Stengers 1984:141). El proceso no-lineal de interacción entre diferentes elementos del sistema puede generar *catástrofes* o *bifurcaciones* que alteren el estado global, dando lugar a un nuevo "orden por fluctuaciones" (Prigogine y Stengers 1984:178).

Dentro de este enfoque, una ciudad es vista como un sistema abierto y complejo que lejos está de alcanzar un equilibrio y que se encuentra en un constante intercambio de bienes y energía con otras ciudades y sus alrededores. En ellas se reconocen múltiples elementos interactuantes, con autonomía relativa pero cohesionados. Esta cohesión no está explicada por la existencia de una racionalidad universal abstracta o por un principio general organizador del todo; sino, por un proceso involuntario derivado del juego de múltiples interacciones entre agentes, escalas y temporalidades (Cuervo González 2000).

Esta cohesión posee adicionalmente dos características dinámicas complementarias: la de la reproducción y la del cambio impredecible. El juego interno de los agentes y elementos explican la cohesión del sistema; característica que se define como *capacidad de auto-organización*. Así, las formas urbanas, construidas involuntariamente por el accionar de agentes que ajustan continuamente su comportamiento en función de las interrelaciones mutuas y de los cambios en el entorno urbano, concretan el fenómeno de auto-organización.

Las especificidades de una ciudad se definen, por lo tanto, por ser un sistema evolutivo con capacidades diferenciales de adaptación al cambio en el medio exterior y cuyo proceso de estructuración depende de variables específicas de cada núcleo urbano en particular. Este enfoque parece abarcar lo que los estudios urbanos han estado buscando durante mucho tiempo, la integración analítica entre espacio, tiempo y acción de la sociedad, para entender el comportamiento y evolución del patrón espacial que tradicionalmente denominamos estructura urbana.

Estas ideas han dado lugar a la aparición de nuevas clases de modelos para simular el desarrollo urbano dentro de los que se

destacan: la *agregación por difusión limitada* (DLA), los *modelos basados en agentes* y la *simulación basada en autómatas*. En los siguientes apartados se presentarán una serie de antecedentes y conceptos sobre la última de las alternativas propuestas, además de un ejemplo empíricos de simulación del crecimiento urbano sobre la ciudad de Tandil.

### **Autómatas celulares y simulación urbana**

Dentro de los modelos de simulación urbana basada en la técnica de los *autómatas*, los más implementados son los *autómatas celulares* (AC). Los AC son herramientas que llaman poderosamente la atención para realizar estudio de sistemas auto-organizados debido a su simplicidad práctica y capacidad analítica de estructuras espacio-temporales complejas.

Su origen se remonta a los trabajos de John Von Neumann, quien propone modelar máquinas que trabajando en forma autónoma (autómatas) tienen la posibilidad de auto-reproducirse (Buzai y Baxendale 2006). Continuó con el aporte de Stanislaw Ulam, quién creó a partir de los fenómenos de crecimiento de cristales, una red infinita desplegada como un tablero de ajedrez donde cada cuadrado de la red podría ser, esencialmente, una máquina que actuaría de acuerdo con un conjunto compartido de reglas. La configuración de la red cambiaría a medida que ocurrieran los pasos del tiempo discreto. Cada célula (casillero del tablero) contendría información que podría conocerse como su estado y, que consultaría la *tabla de reglas* para así determinar su estado en los siguientes momentos.

Aplicado al análisis de procesos espaciales se debe pensar en un AC como en un conjunto de objetos situados sobre una región geográfica o asociados a puntos en el espacio susceptibles de adquirir ciertos estados según transcurre el tiempo, siempre en forma discreta o de a saltos. Estos objetos cambian sus estados en función de sus propios estados previos y de los de aquellos otros entes o individuos situados en su vecindad. El problema es entonces saber cuál será la evolución de la configuración del sistema según avance el tiempo (Wolfram 1983).

Aunque la técnica de los autómatas celulares se remonta a los orígenes de la computación digital, es a partir de la década de 1990 que esta técnica se ha utilizado para explorar el comportamiento de sistemas auto-organizados y modelar el proceso de crecimiento urbano, pudiendo citar los trabajos pioneros de White y Engelen (1993), White *et al.* (1997), y una serie de estudios aplicados a diferentes ciudades tales como: Clarke y Gaydos (1998), Batty, Couclelis y Eichen (1997), Polidori (2004).

## **PRECISIONES METODOLÓGICAS SOBRE EL MODELO PROPUESTO PARA LA CIUDAD DE TANDIL**

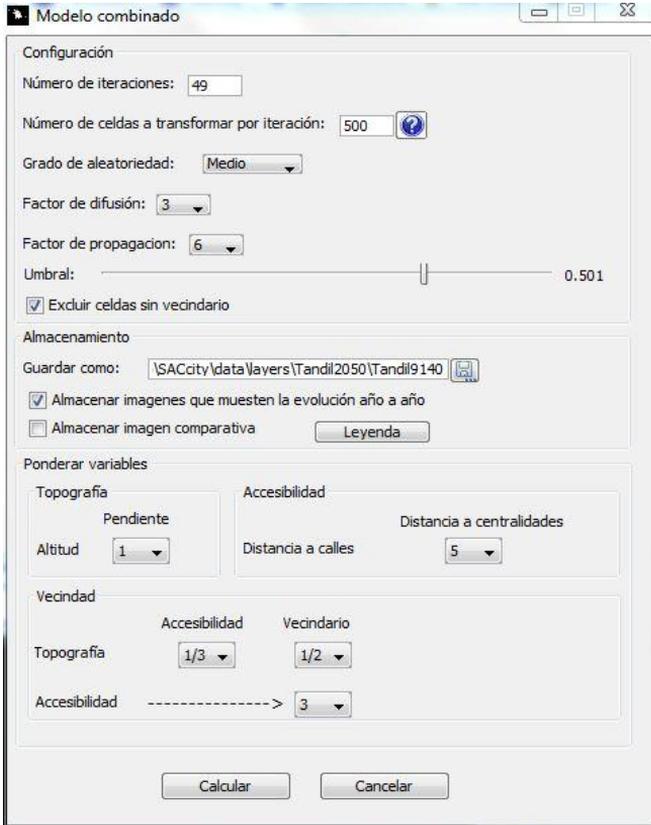
Para la simulación del crecimiento urbano de la ciudad de Tandil se utilizó una aplicación en el lenguaje Java, llamada SACcity (Meliendrez y Milfa 2011), que emplea las funcionalidades y modelo de datos de los productos de la empresa ESRI, como ArcGIS Desktop 9.3 y ArcGIS Engine 9.3.

Para ejecutar el modelo de simulación, el usuario debe ingresar un conjunto de capas temáticas que representan diferentes factores que afectan (en mayor o menor medida) al crecimiento urbano. Las variables consideradas para este ejemplo (pendiente, altitud, distancia a calles, distancia al área central, restricciones a la urbanización, superficie edificada) son las más utilizadas en los antecedentes basados en AC.

La aplicación permite la ejecución de un modelo de AC en el cual se incorpora un método de decisión multicriterio, que introduce un factor de difusión y uno de propagación y, en donde la regla de transición está definida como una función que contempla todos los parámetros de entrada en forma combinada, obteniendo así una simulación más cercana a la realidad (Figura 1).

El modelo de AC diferencia entre dos usos del suelo, definidos como urbanizado y no-urbanizado. El uso de suelo urbanizado incluye el suelo residencial, comercial y de servicios, industrial, transporte y comunicación, equipamientos colectivos o usos mixtos. Los restantes usos del suelo se agrupan en una sola categoría como

no-urbanizados donde se incluyen bosques, pastizales, terrenos baldíos o cultivos.



**Figura 1.** Modelo de simulación combinado en SACcity. Elaboración del autor.

Los distintos componentes que conforman el autómata celular serían:

- Conjunto finito de estados: cada celda puede pertenecer a la categoría de *urbanizado* o *no-urbanizado*. Sólo la transición del estado *no-urbanizado* a *urbanizado* es permitida.

- Vecindad: se ha empleado una matriz de 9 x 9 celdas, lo que nos da una vecindad de 81 celdas, cuya influencia decae con la distancia.
- Regla de evolución: para cada celda del autómata se calcula el potencial de transición y al final de cada iteración del modelo se transforman al estado *urbanizado* aquellas celdas con mayor potencial, sujeto al límite impuesto por el usuario. Para aquellas celdas cuyo estado es *urbanizado* el potencial no se calcula debido a que el estado de las mismas no puede ser modificado.
- Reloj Virtual de Cómputo: Cada iteración del modelo supone una aplicación de la regla de evolución. Estas iteraciones representan una unidad de tiempo de crecimiento que en nuestro ejemplo representan un año.

La función para calcular el potencial de transición del estado actual de una celda  $C$  al estado  $i$  se calcula de la siguiente manera (1):

$$P_{C,i} = I_{C,i} * \vartheta^1 + A_{C,i} * \vartheta^2 + N_{C,i} * \vartheta^3 + \varepsilon \quad (1)$$

donde:

- $P_{C,i}$  es el potencial de la celda  $C$  para que el uso de suelo pase a ser  $i$ .
- $\varepsilon$  es un término de perturbación aleatoria. Debido a que en la fórmula utilizada en el presente modelo los valores del potencial de cada celda varían entre 0 o 1, Se definieron cuatro posibles valores que permiten ajustar el grado de aleatoriedad: nulo, donde el término de perturbación no es utilizado para el cálculo del potencial de las celdas; bajo, valores que oscilan entre 0 y 0.1; medio, valores en el rango de 0 a 0.3; y alto, valores entre 0 y 0.6.
- $I_{C,i}$  y  $A_{C,i}$  es el efecto que el factor I y A tienen sobre la celda  $C$  para que esta tenga un uso de suelo  $i$ .
- $N_{C,i}$  es el efecto que el vecindario tiene sobre la celda  $C$  para que esta tenga un uso de suelo  $i$ . Para determinar cuál es el efecto que tiene una celda del vecindario sobre

la celda central se optó por utilizar una vecindad Moore de radio 4, lo cual significa que el valor del efecto del vecindario de una celda depende de las 80 celdas circundantes a la misma. Este efecto de decaimiento consiste en que la influencia de “atracción” de las áreas urbanas sobre las celdas vecinas a la hora de desarrollarse nuevas edificaciones, se hace menor a medida que nos alejamos de ellas.

- La introducción de los parámetros de ponderación  $\vartheta^1, \vartheta^2, \vartheta^3$  se debe a que uno de los requerimientos principales del modelo es proveerle al usuario la capacidad de variar la importancia que tienen las diferentes variables y factores considerados a la hora de realizar la simulación, mediante el método de decisión multicriterio AHP (Saaty 1980).

Fue posible también aplicar un factor de difusión y uno de propagación. A través de su incorporación se logra evitar que, luego de una cierta cantidad de iteraciones, las celdas que son pasadas a un uso de suelo urbanizado se encuentren concentradas en una misma zona y, de esta forma, se logra aumentar el grado de similitud de los resultados con respecto a las muestras reales.

Los valores del factor de difusión están comprendidos en el rango entre 0 y 4 y su valor es utilizado en el momento que el estado de una celda está por ser transformado. Por ejemplo, un factor igual a tres indica que la celda solo puede ser pasada al estado “urbanizado” si, y solo si, dentro de un radio de tamaño tres ninguna celda ha sido transformada dentro de la misma iteración.

El factor de propagación es utilizado para controlar el porcentaje de celdas que son pasadas al estado de urbanizada dentro de la cercanía o lejanía a las construcciones existentes. Los valores van desde 0, en donde la totalidad de las celdas a transformar son escogidas comenzando por aquellas que se encuentren más cercanas a celdas urbanizadas, hasta 10, valor que significa que el 100% de las celdas a transformar son elegidas sobre aquellas que se encuentren más alejadas a celdas urbanizadas. Para definir los conceptos de

cercanía o lejanía en el modelo se hizo uso del vecindario de 80 celdas que rodea a la celda en cuestión; de esta forma se consideró como celdas cercanas a aquellas cuyo valor de vecindario sea elevado y, celdas lejanas a aquellas cuyo valor de vecindario es mínimo. Las celdas con valores inferiores al umbral establecido por el usuario quedan excluidas de los cálculos. Este umbral se expresa en puntajes estandarizados entre 0 y 0.7, donde el 0 indica el mínimo de vecindad posible y 0.7 cercano a la máxima que es 1.

Finalmente, contar con la situación real de las áreas urbanas permite validar el resultado, es decir, verificar cual es el grado de correspondencia entre lo predicho por el modelo y la realidad. Para tal fin, en este trabajo se emplean dos métodos de comparación de los resultados simulados con los valores reales de suelo ocupado por la ciudad: la comparación visual de los mapas y una evaluación cuantitativa mediante matrices de confusión. La matriz de confusión permite deducir cuatro medidas relativas a la exactitud de los resultados: exactitud global, exactitud del usuario, exactitud del productor y coeficiente Kappa.

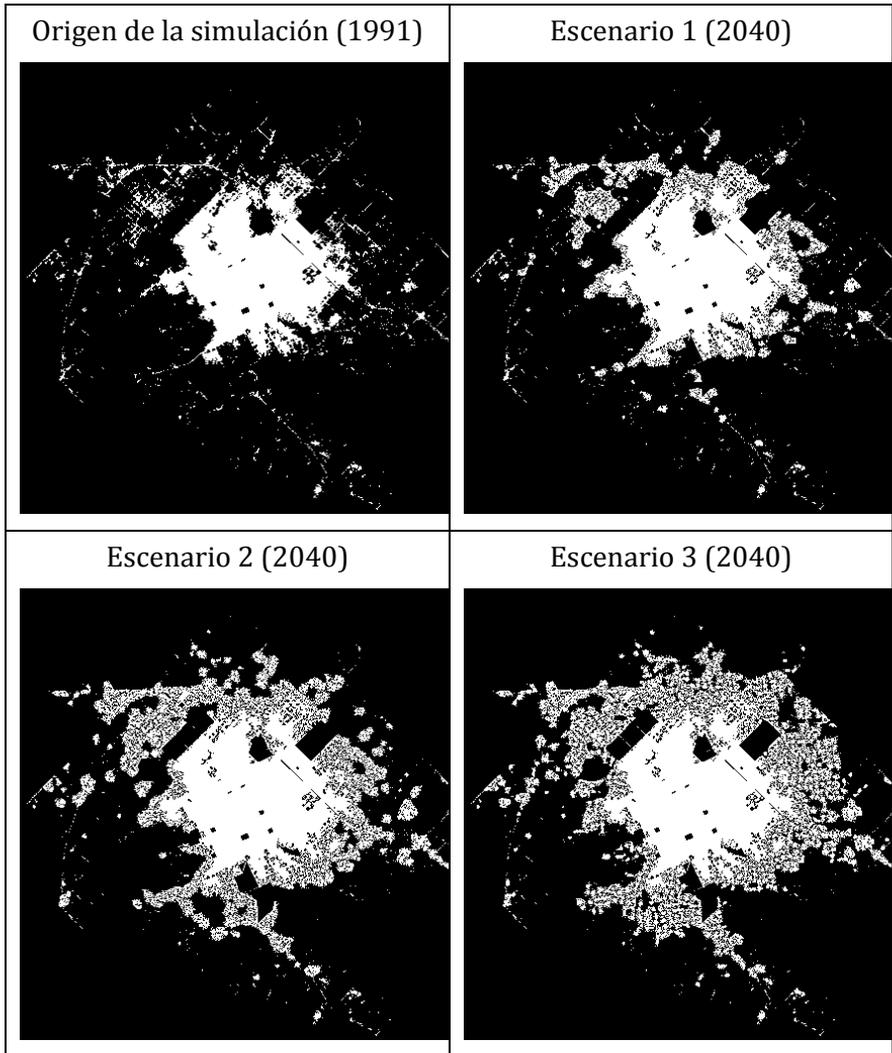
## **APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

La aplicación se realiza sobre la ciudad de Tandil, una ciudad intermedia de la Provincia de Buenos Aires que cuenta con una población de 116.945 habitantes según los datos oficiales del último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (2010). En esta aplicación se pretende experimentar mediante simulaciones los diferentes tipos de escenarios que podrían darse en dicha ciudad en el año 2040 según evolucione su tasa y forma de urbanización.

Para obtener los diferentes escenarios se partió por extraer el área urbana edificada para el año 1991 (Figura 2) y desde ese año se realizaron las simulaciones sucesivas modificando significativamente la sensibilidad de los parámetros incluidos en SACcity.

En el escenario 1 (Figura 2) se intenta reproducir hasta 2040 las lógicas de crecimiento ocurridas durante 1991 y 2001, en donde el factor de accesibilidad resulta ser el más importante y donde los

factores de difusión y propagación son medios (Aleatoriedad: Media; Difusión: 3; Propagación: 6; Umbral: 0.5 y Ponderación: Topografía=1/3, Accesibilidad=3 y Vecindad=2).



**Figura 2.** Mapas respectivos a la superficie edificada en 1991 y escenarios alternativos en 2040. Ciudad de Tandil. Elaboración del autor.

En el escenario 2 (Figura 2) se aplica un similar comportamiento con respecto a los factores pero se duplica la tasa de edificación con respecto a lo ocurrido durante el decenio 1991-2001, pasando de 500 a 1000 nuevas celdas por año (Aleatoriedad: Media; Difusión: 3; Propagación: 6; Umbral: 0.5 y Ponderación: Topografía=1/3, Accesibilidad=3 y Vecindad=2).

En el escenario 3 (Figura 2), se emplea una elevada tasa de edificación anual, idéntica a la del escenario 2, pero simulando un patrón de urbanización mucho más disperso, con altos factores de difusión y propagación (Aleatoriedad: Media; Difusión: 4; Propagación: 8; Umbral: 0.5 y Ponderación: Topografía=1, Accesibilidad=1 y Vecindad=1).

Los indicadores de validación de las simulaciones indican que un patrón de dispersión medio y crecimiento moderado es el comportamiento que mejor se adecua para describir el crecimiento de la ciudad de Tandil, arrojando un coeficiente Kappa de 0.83 para el escenario 1, superior a 0.72 y 0.66 correspondiente a los escenarios 2 y 3. Sin embargo, vale la pena destacar que las evaluaciones fueron ejecutadas sobre lo ocurrido en los primeros 10 años del proceso de simulación (1991-2001), y es de esperar que los patrones de expansión urbana hayan sido fuertemente influenciados por el dinamismo del sector inmobiliario (y económico en general) que caracterizo a la última década de nuestro país, mostrando cambios sustantivos en los indicadores obtenidos.

Los resultados de las simulaciones nos permiten demostrar cómo, de seguir con la una tasa de edificación anual similar al período 1991-2001 (escenario 1), en el 2040 el área urbana edificada de Tandil aumentaría un 26,5 por ciento, es decir pasaría de 2113 ha en 1991 a 2674 ha en 2040. Mientras que si se duplica la tasa de edificación anual de referencia, aunque sin modificar los parámetros, se estima un crecimiento futuro de 58,2 por ciento, llegando a 3.344 ha para el año 2040. Esto se incrementaría si los procesos de difusión y propagación avanzan y las restricciones para la urbanización asignadas disminuyen, llegando a 3754 ha para 2040, es decir, un 77,6 por ciento.

El área de crecimiento en el escenario 1 estaría definida por la zona residencial en proceso de consolidación hacia el Norte y

Noreste de la ciudad, manteniendo algunos intersticios entre los barrios que la conforman, y una franja próxima circundante a la actual zona residencial consolidada en el Sur y Sur-Oeste del área urbana. Al duplicar la tasa de edificación, el escenario cambiaría significativamente, los vacíos urbanos desaparecen en el Norte y Noreste mientras que hacia el Sur-Este, Sur y Sur-Oeste se observa un incremento considerable de la superficie edificada, tanto alrededor de las áreas residenciales consolidadas como sobre los ejes turísticos de la ciudad. Finalmente, si el peso de la accesibilidad deja de incidir positivamente, ni el de la topografía negativamente y la difusión y propagación (dispersión) aumenta, una cuarta corona continua a una distancia de 5500 metros del área central se habrá consolidado por completo.

## **CONCLUSIÓN Y REFLEXIONES**

Los diferentes escenarios obtenidos permiten corroborar la versatilidad de las simulaciones para adaptarse a los conocimientos y criterios de los usuarios expertos. La posibilidad de incorporar parámetros de aleatoriedad, difusión y propagación en una misma aplicación, resulta un aporte novedoso para la simulación urbana, y permite una mayor utilidad de la herramienta al adaptarse a diferentes contextos urbanos.

De la misma manera, la posibilidad de realizar una ponderación diferencial permite, por un lado, darle la justa importancia a cada uno de los factores considerados, y por otro, como se presenta en nuestro ejemplo, conocer efectivamente cuál de ellos resulta determinante para explicar la forma en que una ciudad se expande.

Resumiendo estos rasgos, podríamos decir que la aplicación de AC en la investigación de fenómenos urbanos, significa un estrechamiento de la distancia entre los procesos que ocurren en la realidad y los modelados mediante tecnologías de la información geográfica. Los muy altos resultados arrojados en los índices de validación empleados así lo manifiestan.

Podemos considerar que los resultados de los modelos y datos obtenidos poseen un alto potencial de transferencia al proceso de ordenamiento territorial, como insumo para la regulación y ordenamiento del crecimiento urbano. Específicamente podrían ser empleados para evaluar si es necesario readecuar los planes de desarrollo urbano en las ciudades en orientación a regenerar y reutilizar las zonas degradadas y abandonadas; evitar el crecimiento urbano desmesurado, logrando densidades urbanas apropiadas y priorizando el desarrollo urbano en áreas ocupadas frente a áreas de valor ambiental; asegurar un urbanismo de usos del suelo mixtos, con un balance equilibrado entre la actividad laboral, residencial y de servicios, dando prioridad a un uso residencial en el núcleo urbano y, asegurar una conservación, renovación y reutilización apropiada de nuestra herencia cultural urbana.

No obstante, existen muchos aspectos en los que se podría avanzar en esta aplicación, o en desarrollos similares futuros. En principio, sobre las variables tenidas en cuenta en este trabajo (área urbanizada, distancia a red de transporte, distancia a centralidades, altitud, pendiente, área urbanizable y áreas prohibidas), las cuales son consideradas como las principales condicionantes del crecimiento urbano pero la simulación de este fenómeno se optimizaría considerablemente si se incluyen otras variables vinculadas a las actividades socio-económicas, características geotécnicas del suelo, zonas de riesgos y diversos indicadores urbanísticos que rigen legalmente el uso del suelo urbano.

Por otra parte, los modelos desarrollados en este trabajo sólo consideran dos posibles coberturas o clases de suelo: urbanizado y no-urbanizado. De esta forma, las simulaciones permiten ver cómo crece o se expande la ciudad en su conjunto. En trabajos futuros se podrían incorporar más clases que representen con mayor fidelidad a la morfología interna de las ciudades. Así, por ejemplo, podríamos tener los tipos de suelo residencial, comercial, industrial, etcétera, permitiendo ver, no sólo cómo crece la ciudad en su conjunto, sino también de qué manera crece cada uso a medida que crece la ciudad. Varios autores trabajan los modelos de crecimiento urbano de esta forma, como es el caso de Alkheder y Shan (2005), que representan la estructura de la ciudad con siete tipos de coberturas distintos (Agua, Camino, Urbanizado, Bosque, Pastura, Cultivo, Sin-Clasificar),

o el de Lahti (2008) que permite configurar la aplicación para incorporar hasta 15 tipos de uso de suelo diferentes.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alkheder, S. y J. Shan 2005. *Cellular Automata Urban Growth Simulation and Evaluation - A Case Study of Indianapolis*. Geomatics Engineering. School of Civil Engineering. Purdue University. Disponible en:  
<http://www.geocomputation.org/2005/Alkheder.pdf>
- Aguilera Ontiveros, A. 2002. *Ciudades como tableros de ajedrez. Introducción al modelado de dinámicas urbanas con autómatas celulares*. Colección Investigaciones del Colegio de San Luis. San Luís de Potosí, México.
- Allen, P.M. 1997. Cities and regions as evolutionary, complex systems. *Geographical Systems* 4:103-30.
- Batty, M. y P. Longley. 1994. *Fractal cities: a geometry of form and function*. London, Academic Press.
- Batty, M.; H. Couclelis y M. Eichen. 1997. Urban systems as cellular automata. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24(2): 159-164.
- Buzai, G. y C. Baxendale. 2006. *Análisis Socioespacial con Sistemas de Información Geográfica*. Buenos Aires, Lugar editorial S.A.
- Clarke, K.C.; S. Hoppen y L.J. Gaydos. 1997. A self modifying cellular automaton of historical urbanization in the San Fransico Bay area. *Enviroment and Planning B*. 24(2): 247-261.
- Cuervo González, L.M. 2000. Economía y ciudad: algunas propuestas teóricas. En A. C. Torres Ribeiro, *Repensando a experiênciã urbana da América Latina: questões, conceitos e valores*: 61-76.
- Dyckman, J.W. 1963. The scientific world of the city planners. *American Behavioral Scientist* 6: 46-50.
- Gómez Delgado, M. y V.M. Rodríguez Espinosa. 2012. *Análisis de la dinámica urbana y simulación de escenarios de desarrollo futuro con tecnologías de la información geográfica*. RA-MA Editorial, Madrid, España.
- Henríquez, C., G. Azócar y M. Aguayo. 2006. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación

- espacial en Los Ángeles, VIII región del Biobío, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* 36: 61-74.
- Lahti, J. 2008. *Modelling urban growth using cellular automata: a case study of Sydney, Australia*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Holanda. Disponible en:  
[http://www.itc.nl/library/papers\\_2008/msc/gem/lahti.pdf](http://www.itc.nl/library/papers_2008/msc/gem/lahti.pdf)
- Lan, D., S.Linares, J. Di Nucci y M. López Pons. 2010. La lógica de la organización espacial en la Ciudad de Tandil. En: D. Elias; M. E. B. Sposito y B. R. Soares (Org.). *Agentes econômicos e reestruturação urbana e regional: Tandil e Uberlândia*: 29-155. São Paulo.
- Longley, P.A., M.F. Goodchild, D.J. Maguire y D.W. Rhind. 2013. Modelagem Espacial com SIG. En: P. A. Longley *et al. Sistemas e Ciência da Informação Geográfica*: 403-423. Bookman, Porto Alegre, Brasil. (Tercera edición).
- Meliendrez, M. y S. Milía 2011. Modelos de autómatas celulares aplicados al estudio de crecimiento urbano. Tesis de Licenciatura en Sistemas inédita. Facultad de Ciencias Exactas, UNCPBA.
- Polidori, M. C. 2004. *Crescimento urbano e ambiente – Um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade*. Tese de Doutorado. UFRGS - PPGECCO. Porto Alegre.
- Prigogine, I. y I. Stengers. 1984. *Order out of chaos: man's new dialogue with nature*. London, UK, Heinemann.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill. Nueva York.
- Tobler, W. 1979. Cellular Geography. En: S. Gale and G. Olsson (eds.), *Philosophy in Geography*: 379-386.
- Von Neumann, J. 1966. *Theory of self-reproducing automata*. (Burks, A.W. Ed.). University of Illinois Press, Urbana: 63-87.  
<http://www.history-computer.com/Library/VonNeumann1.pdf>  
Acceso: 10 de Junio de 2015.
- White, R. y G. Engelen, 1993. Cellular-Automata and Fractal Urban Form—a Cellular Modeling Approach to the Evolution of Urban Land-Use Patterns. *Environment and Planning A*. 25(8): 1175-1199.

- White, R., G. Engelen y I. Uljee. 1997. The use of constrained cellular automata for high resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24(3): 323-343.
- Wilson, A. G. 1981. *Catastrophe theory and bifurcation: applications to urban and regional systems*. London, Croom Helm.
- Wolfram, S. 1986. Theory and applications of cellular automata. *World Scientific Publishing Co.* : 333-342. Hong Kong.



# CONVERGENCIA

*Gustavo D. Buzai*

UNA GEOGRAFÍA DE LO REAL se sustenta en aproximaciones que privilegian la materialidad empírica de la relación entre las sociedades y el espacio geográfico por sobre cualquier tipo de discurso que sólo sea comprobado a través de un consenso persuasivo. Es una Geografía que descubre problemas socioespaciales en el mundo real para poder solucionarlos a través de la aplicación de los conocimientos científicos en el marco de una ciencia aplicada correspondiendo a una actividad claramente orientada hacia las demandas de la población de un área geográfica.

Este tipo de Geografía debe buscar sus respuestas intentando conseguir la máxima simplicidad posible, porque cuanto menos complicadas sean sus explicaciones más efectiva se presentará a la hora de lograr su principal objetivo: la generación de productos del análisis espacial que tengan utilidad para el proceso de transferencia hacia la toma de decisiones destinada a ordenar el territorio.

La investigación científica es el proceso por el cual se adquiere conocimiento científico y, particularmente la Geografía Cuantitativa, se sustenta en programas de investigación que brindan un papel de gran importancia a los modelos y leyes científicas que explican y predicen las estructuras socioespaciales. Corresponde al intento de lograr comprender el orden/desorden que brinda una situación de base para la búsqueda del mejor funcionamiento del sistema.

Estas son las consideraciones centrales que recorren el contenido del libro. En primer término destacando los aspectos teóricos de la Geografía Cuantitativa como ciencia aplicada, para luego ejemplificar el modo de trabajo académico a través de aplicaciones en diferentes líneas de abordaje. Es aquí donde aparece con gran vigor la tecnología SIG en apoyo a muy variados procedimientos de abordaje de la realidad.

Los casos de estudio incluidos presentan ejemplos del proceso de construcción de conocimientos apelando a metodologías específicas con la intención de representar claramente la realidad socioespacial a través de la utilización de datos empíricos obtenidos en ella. La localización y distribución espacial incorpora muchas temáticas de relevancia social aquí representadas con claridad.

De esto trata la Geografía Cuantitativa, la combinación efectiva entre el pensamiento científico y la acción racional para actuar sobre la materialidad empírica del mundo y, con ello mostrar la utilidad de nuestra ciencia en la comprensión y resolución de casos problemáticos concretos que nos presenta la realidad.



Diseño y Diagramación: MCA Libros.  
Esta obra se terminó de editar en Impresiones Buenos Aires,  
Paraguay 2427, Ciudad Aut. de Buenos Aires, Argentina, en  
el mes de agosto de 2015.









La GEOGRAFÍA CUANTITATIVA es el paradigma geográfico preocupado por establecer las leyes que rigen las pautas de distribución espacial, apoyado en la matemática como lenguaje de la ciencia y en la geometría como lenguaje de la forma espacial. Se desarrolló a mediados del siglo XX y actualmente su evolución dio como resultado la Geografía Automatizada sustentada en el uso de computadoras, la cual generó un gran impacto en la ciencia a través de la Geografía Global y en la sociedad a partir de la Neogeografía.

Desde esta perspectiva, la dimensión espacial está adquiriendo un mayor protagonismo en una gran variedad de ciencias que se apoyan en el análisis espacial cuantitativo para la generación de conocimientos relacionados a las localizaciones, distribuciones espaciales, asociaciones espaciales, interacciones espaciales y evoluciones espaciales de determinadas características que permiten modelar el espacio geográfico para su mejor conocimiento y posibilidades de aplicación.

La presente obra abordará aspectos relativos a los actuales avances en el desarrollo teórico y epistemológico de la Geografía Cuantitativa, dando lugar a una mayor integración con los avances metodológicos apoyados en las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG), frente a los nuevos desafíos que se plantean en el siglo XXI. El libro se estructura en dos partes. La parte 1, Aspectos conceptuales, presenta temas teórico-epistemológicos centrales, en tanto que la parte 2, Aplicaciones de análisis espacial, presenta estudios concretos. Los autores de las diferentes contribuciones son profesionales destacados en el ámbito académico y profesional argentino y latinoamericano: Claudia A. Baxendale, Gustavo D. Buzai, Graciela Cacace, Osvaldo D. Cardozo, Romina Claret, Cristian Javier Da Silva, Armando García de León, Erica Leonor Gómez, Luis Humacata, Sonia Lanzelotti, Santiago Linares, Patricia Lucero, Eloy Montes Galbán, Alejandro Parras, Arnobio Germán Poblete, Lili ana Ramírez.

El libro Teoría y Métodos de la Geografía Cuantitativa (Libro 1: por una Geografía de lo real) cumple con el objetivo de los editores de presentar una Geografía preocupada por el mundo real y se convierte en un material de suma utilidad para lectores orientados hacia la investigación científica y a la docencia de nuestra ciencia.

