

Accesibilidad e interacción espacial

Aportes del análisis espacial cuantitativo para su modelización regional

Gustavo D. Buzai, Claudia A. Baxendale y Alejandra Mierez

Cuando la tarea de planificación territorial tiene como objetivo lograr las condiciones necesarias para favorecer un verdadero desarrollo regional, en primera instancia se realiza el análisis de la integración de los diferentes espacios geográficos que componen el área de estudio, integración que no tiene relación directa con la cercanía o lejanía de las diferentes unidades espaciales, sino con las reales posibilidades de conexión.

El desarrollo económico y socio-cultural comienza a tener sustento en diferentes tipos de movimientos realizados sobre las redes de transporte y comunicaciones. Espacios lejanos pero bien conectados, puedan gozar de beneficios a partir de la difusión de innovaciones tecnológicas e ideas. En este sentido, el análisis espacial a través de sus técnicas de investigación brinda elementos para medir las diferentes accesibilidades e interacciones espaciales a nivel regional.

Desde un punto de vista teórico se hace necesario considerar la existencia de un *espacio relativo* que permita la realización de mediciones basadas en diferentes sistemas de referencia y la existencia de una *MacroGeografía* que ha permitido la integración de modelos provenientes de las ciencias físico-matemáticas. Desde un punto de vista metodológico se verifica un avance desde las mediciones de accesibilidad simples (realizadas sobre un espacio ideal) y de accesibilidad reales (medidas considerando la fricción espacial) hasta los modelos de interacción a través de las técnicas de potencial de población.

Estas variantes de análisis, considerando un caso de aplicación real, serán tratadas en el presente trabajo.

Un espacio relativo

Cuando se habla acerca de la *distribución espacial* de diversos elementos sobre la superficie terrestre se está haciendo referencia a la frecuencia diferencial encontrada en las distintas áreas. La intensidad con la que se manifiestan las características espaciales de un lugar a otro es uno de los elementos básicos del *análisis espacial* e intentar darle respuesta a estas variaciones se transforma en una tarea imprescindible.

En este sentido, el análisis de la *distribución espacial* implica reconocer *donde* se producen las diferenciaciones y brindarles explicación, siendo que estas pueden ser logradas en base a diferentes conceptualizaciones de la variable espacial.

El llamado *espacio absoluto* ha brindado por siglos una respuesta simple a esta cuestión ya que resulta ser la consideración de un espacio vacío que contiene elementos, por lo tanto su representación se encuentra ligada a una *localización absoluta* que en la actualidad se reconoce a través del sistema de coordenadas latitud-longitud tomando como inicio el meridiano de *Greenwich* y el Ecuador.

La revolución cuantitativa en Geografía llevó a ampliar este concepto hacia el de *espacio relativo*, el cual brinda mayor aptitud para comprender las leyes que rigen las pautas del comportamiento espacial al considerar diferentes formas de medición para su análisis, basadas principalmente en la fricción espacial.

En este sentido los estudios de las relaciones espaciales incluyen no solamente las posiciones absolutas sobre el sistema de coordenadas, sino también diferentes tipos de distancias (tiempos, costos) que aparecen vinculadas a un espacio geográfico que presenta distorsiones reales. De esta manera las preguntas que se intentan responder a través del *análisis espacial cuantitativo* pueden encontrarse vinculadas a sistemas de referencia alternativos.

En este contexto, los cálculos de accesibilidad espacial a través de variables que indiquen la interacción horizontal entre poblaciones de diferentes áreas en las que se divide el espacio geográfico pasan a ocupar un lugar preponderante en estas perspectivas de análisis.

Macro-Geografía

La perspectiva fundamental en cuanto al análisis de la interacción espacial en contextos regionales está relacionada a la consideración de tres dimensiones básicas: la población (o mediciones que sirvan para ponderar el *peso* relativo de las unidades espaciales), la distancia y el tiempo de conexión entre ellas.

Estos factores permiten identificar sistemas de relaciones generales que llevaron a conceptualizar la existencia una *MacroGeografía* de los fenómenos sociales, la cual permitiría estudiar comportamientos espaciales en escalas regionales para luego intensificar la resolución hacia espacios específicos.

Esta situación está íntimamente relacionada con el *método deductivo* en la construcción del conocimiento científico al dirigirse en un camino que se va de lo general a lo particular y que apoya la formulación de leyes espaciales al poner a prueba el comportamiento interaccional de diferentes áreas que se consideran como *laboratorios* en los que se ponen a prueba la combinación de teoría y metodologías asociadas.

Tanto la consideración de un *espacio relativo* como la perspectiva macro-geográfica que brinda la posibilidad de medir interacciones y cambios sistémicos es lo que ha permitido el desarrollo de la llamada *física social*, campo de estudio en el cual se han desarrollado gran parte de las soluciones cuantitativas que se detallan a continuación.

Relaciones entre distancias ideales y distancias reales

El camino de menor longitud entre dos localidades puede representarse a través de una línea recta, la cual en pocas oportunidades tiene correspondencia con la situación real. En este sentido, el análisis de la relación entre las distancias ideales (di) y las distancias reales (dr) constituye una alternativa válida al momento de verificar el grado de eficiencia en la estructura de la red.

Son dos las mediciones que permiten estudiar esta situación: la accesibilidad ideal (AI) y la accesibilidad real (AR). Ambas obtienen sus mejores situaciones cuando presentan valores menores dentro del conjunto de resultados para la totalidad de localidades del área de estudio.

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

donde AI_i es la accesibilidad ideal para la localidad i , $\sum_{j=1}^n di_{ij}$ es la sumatoria de las distancias

ideales entre la localidad i y cada una de las localidades del área de estudio j . Como puede analizarse, este índice genera un valor para cada localidad, el cual muestra mejores condiciones en las localidades que presentan valores menores, desde un punto de vista topológico son aquellas desde las cuales se debe recorrer una menor cantidad de distancia para acceder a la totalidad de localidades del área de estudio.

$$[2] \quad AR_i = \sum_{j=1}^n dr_{ij}$$

La fórmula correspondiente a la obtención de accesibilidad real para la localidad i tiene las mismas propiedades que [1] con la diferencia de considerar las distancias reales (dr) entre las localidades $i-j$.

La relación entre los dos resultados de accesibilidad calculados para cada localidad permite obtener valores que indican la eficiencia en la posición que cada una ocupan en la red. Dos tipos de mediciones pueden ser realizadas a partir del índice de calidad en la comunicación (ICC) y el índice de trayectoria (IT). Ambos obtienen sus mejores situaciones cuando presentan resultados que se aproximan a 1, es decir, cuando tengan mayor semejanza en sus longitudes.

$$[3] \quad ICC_i = \frac{AI_i}{AR_i}$$

donde ICC_i es el índice de calidad en la comunicación para la localidad i , AI_i es la accesibilidad ideal y AR_i es la accesibilidad real, ambos para la localidad i . Al ser siempre $AI_i \leq AR_i$ el valor del índice será $0 \leq ICC_i \leq 1$ y se presentará más favorable cuanto más se acerque al valor máximo. De forma inversa se obtiene el IT :

$$[4] \quad IT_i = \frac{AR_i}{AI_i}$$

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

Estas relaciones tienen su equivalente para el análisis de la red completa con similares propiedades.

$$[5] \quad AI_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n di_{ij}$$

$$[6] \quad AR_r = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n dr_{ij}$$

$$[7] \quad ICC_r = \frac{AI_r}{AR_r}$$

$$[8] \quad IT_r = \frac{AR_r}{AI_r}$$

De la misma forma que para el caso de las localidades individuales, los resultados finales para el análisis del conjunto se encontrarán en, $0 \leq ICC_r \leq 1$ y $IT_r \geq 1$.

Realizar el cálculo de estos índices es necesario generar dos matrices de accesibilidad, las cuales serán ejemplificadas para un conjunto de localidades del norte y oeste del Gran Buenos Aires (MAPA BASE – Área de estudio). La primera (MDI – *matriz de distancias ideales*) presenta las distancias ideales (en línea recta) entre las localidades del área de estudio y la segunda (MDR – *matriz de distancias reales*) las distancias calculadas sobre las rutas que las unen. Para la realización de los procedimientos se consideran los nombres de los Partidos (unidad espacial

areal) que solamente en un único caso no se corresponde con el de la localidad cabecera, es Exaltación de la Cruz cuya localidad es Capilla del Señor (CS).

Cuadro 1: MDI - Matriz de distancias ideales (en km)								
	Campana	Escobar	Ex.Cruz	Gral.Rodríguez	Luján	Moreno	Pilar	AI _i
Campana	0.00	25.75	19.50	50.00	48.75	56.75	33.75	234.50
Escobar	25.75	0.00	29.00	32.25	38.25	33.50	16.00	174.75
Ex.Cruz	19.50	29.00	0.00	38.25	32.25	32.25	25.75	177.00
Gral.Rodríguez	50.00	32.25	38.25	0.00	14.50	15.50	17.25	167.75
Luján	48.75	38.25	32.25	14.50	0.00	30.00	22.50	186.25
Moreno	56.75	33.50	32.25	15.50	30.00	0.00	24.25	192.25
Pilar	33.75	16.00	25.75	17.25	22.50	24.25	0.00	139.50
AI _i	234.50	174.75	177.00	167.75	186.25	192.25	139.50	1272.00

Cuadro 2: MDR - Matriz de distancias reales (en km)								
	Campana	Escobar	Ex.Cruz	Gral. Rodríguez	Lujan	Moreno	Pilar	AR _i
Campana	0.00	27.50	27.50	57.50	52.50	62.50	37.50	265.00
Escobar	27.50	0.00	37.50	32.50	40.00	35.00	17.50	190.00
Ex.Cruz	27.50	37.50	0.00	42.50	35.00	50.00	27.50	220.00
Gral.Rodríguez	57.50	32.50	42.50	0.00	15.00	17.50	17.50	182.50
Luján	52.50	40.00	35.00	15.00	0.00	30.00	22.50	195.00
Moreno	62.50	35.00	50.00	17.50	30.00	0.00	25.00	220.00
Pilar	37.50	17.50	27.50	17.50	22.50	25.00	0.00	147.50
AR _i	265.00	190.00	220.00	182.50	195.00	220.00	147.50	1420.00

Los valores obtenidos tanto para la accesibilidad ideal [1] como para la accesibilidad real [2] se consiguen a partir de la sumatoria de filas y columnas. Para ambos casos puede verificarse que la localidad más accesible es Pilar (ubicada en el centro del MAPA BASE) y la menos accesible es Campana. Los valores obtenidos para la totalidad de localidades del área de estudio, que corresponden a las fórmulas en [5] y [6] es de 1272 y 1420 kilómetros respectivamente.

El cálculo del índice de calidad en la comunicación [7] y del índice de trayectoria [8] se obtienen operando con los resultados contenidos en las dos matrices a través de realizar divisiones entre sus resultados parciales y totales. En el primer caso (Cuadro 3) pocos puntajes llegan a 1, el valor óptimo que representa una coincidencia perfecta entre la distancia ideal y la real. En el segundo caso (Cuadro 4), de manera inversa, los puntajes en la mayoría de los casos superan el valor 1, tanto más cuanto mayor es la trayectoria que se debe recorrer para llegar de una ciudad a otra. El caso extremo se verifica entre Exaltación de la Cruz (Capilla del Señor) y Moreno con un IT = 1,55, lo cual significa que para llegar de una localidad a otra se debe recorrer un 55% más de lo que se haría en línea recta.

Cuadro 3: Índice de Calidad en la Comunicación (ICC)								
	Campana	Escobar	Ex.Cruz	Gral. Rodríguez	Lujan	Moreno	Pilar	ICC _i
Campana	0.00	0.94	0.71	0.87	0.93	0.91	0.90	0.88
Escobar	0.94	0.00	0.77	0.99	0.96	0.96	0.91	0.92
Ex.Cruz	0.71	0.77	0.00	0.90	0.92	0.65	0.94	0.80
Gral.Rodríguez	0.87	0.99	0.90	0.00	0.97	0.89	0.99	0.92
Luján	0.93	0.96	0.92	0.97	0.00	1.00	1.00	0.96
Moreno	0.91	0.96	0.65	0.89	1.00	0.00	0.97	0.87
Pilar	0.90	0.91	0.94	0.99	1.00	0.97	0.00	0.95
ICC _i	0.88	0.92	0.80	0.92	0.96	0.87	0.95	0.90

Cuadro 4: Índice de Trayectoria (IT)								
	Campana	Escobar	Ex.Cruz	Gral. Rodriguez	Lujan	Moreno	Pilar	IT _i
Campana	0.00	1.07	1.41	1.15	1.08	1.10	1.11	1.13
Escobar	1.07	0.00	1.29	1.01	1.05	1.04	1.09	1.09
Ex.Cruz	1.41	1.29	0.00	1.11	1.09	1.55	1.07	1.24
Gral.Rodriguez	1.15	1.01	1.11	0.00	1.03	1.13	1.01	1.09
Luján	1.08	1.05	1.09	1.03	0.00	1.00	1.00	1.05
Moreno	1.10	1.04	1.55	1.13	1.00	0.00	1.03	1.14
Pilar	1.11	1.09	1.07	1.01	1.00	1.03	0.00	1.06
IT _i	1.13	1.09	1.24	1.09	1.05	1.14	1.06	1.12

Medidas de Potencial de Población

A las medidas utilizadas en el punto anterior, para el análisis de la accesibilidad territorial de las localidades en una región, se le pueden sumar los modelos de interacción a través del cálculo del *potencial de población*, un índice de la interacción potencial de una localidad respecto del total de localidades del área de estudio.

En este sentido, el valor de ponderación que adquiere cada localidad está basado en su tamaño poblacional y este tamaño es el que genera su nivel de interacción. A través de la geografía cuantitativa y los modelos urbano-regionales ha quedado demostrado también que a diferentes tamaños poblacionales aparecen en el interior de los núcleos urbanos una oferta diferencial de bienes y servicios, tanto más especializados cuanto mayor es su tamaño. Por lo tanto, si bien la medida de interacción puede tomarse básicamente a través del tamaño poblacional también se lo puede hacer considerando otros valores de ponderación, generalmente vinculados a la actividad económica.

En el presente artículo consideraremos la presentación de la medida básica de potencial de población (*PP*) discriminado en dos partes, la primera de ellas tiene que ver con la definición de un potencial inter-localidades (*PI*) y la segunda con el potencial propio (*P*) considerado aquí como sinónimo de magnitud poblacional:

$$[9] PP_i = P_i + \sum_{j=1}^n \frac{P_j}{d_{ij}}$$

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

Para el conjunto de las localidades del área de estudio los valores de población arrojados por el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2001 son los presentados en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Población 2001	
Localidad	Población
Campana	77.677
Escobar	172.494
Ex.Cruz (Capilla del Señor)	7.207
Gral. Rodriguez	64.017
Luján	78.005
Moreno	379.801
Pilar	228.724

Total	1.007.925
--------------	-----------

A partir de estos valores poblacionales y aplicando [9] con los resultados contenidos en el Cuadro 2 se obtienen los resultados del potencial de población presentados en el Cuadro 5. Su normalización considerando el mayor valor (Moreno) como 100% y el cálculo del resto de los valores como proporción del mayor porcentaje sirven de base para la realización del mapa de isolíneas correspondiente (Mapa 5) y su visión tridimensional (Mapa 6).

Cuadro 5: Cálculo del Potencial de Población							
	Campana	Escobar	Ex.Cruz	Gral. Rodriguez	Lujan	Moreno	Pilar
Campana	0.00	2824.62	2824.62	1350.90	1479.56	1242.83	2071.39
Escobar	6272.51	0.00	4599.84	5307.51	4312.35	4928.40	9856.80
Ex.Cruz	262.07	192.19	0.00	169.58	205.91	144.14	262.07
Gral.Rodriguez	1113.34	1969.75	1506.28	0.00	4267.80	3658.11	3658.11
Luján	1485.81	1950.13	2228.71	5200.33	0.00	2600.17	3466.89
Moreno	6076.82	10851.46	7596.02	21702.91	12660.03	0.00	15192.04
Pilar	6099.31	13069.94	8317.24	13069.94	10165.51	9148.96	0.00
P_i	21310	30858	27073	46801	33091	21723	34507
P_i	77677	172494	7207	64017	78005	379801	228724
PP_i	98987	203352	34280	110818	111096	401524	263231
%Moreno(100)	24.65	50,65	8,54	27,60	27,67	100	65,56

Una forma más sofisticada como modalidad de cálculo de potencial de población que considera la población dispersa de cada área en particular puede ser realizado a partir del cálculo del centro medio de la distribución de puntos y fórmulas de ajuste poblacional a dicho centro.

Interpretación de los resultados

Las representaciones cartográficas del espacio relativo tienen como objetivo captar las variaciones de las distribuciones espaciales continuas. La técnica básica es la generación de mapas de isolíneas, mapas cuantitativos que representan las variaciones espaciales de magnitud a través de líneas que unen puntos de igual valor. En nuestras mediciones, de igual accesibilidad *-ideal o real-*, de calidad en la comunicación, de índice de trayectoria o de posibilidad de interacción a través del cálculo de potencial de población.

Los resultados gráficos presentados se han desarrollado en tres etapas: a) determinados puntos con valores incorporados, b) trazado de las isolíneas, y c) sombreado entre isolíneas para la determinación de áreas. Este último procedimiento es el que permite interpretar los resultados con mayor facilidad.

Mientras en las dos primeras aplicaciones es Pilar la localidad con mayor accesibilidad, teniendo los menores valores en AI y AR, Campana tiene el comportamiento inverso. Se puede apreciar que los valores de los cálculos realizados disminuyen desde el centro a los extremos de la red.

La mejor calidad en la comunicación la tiene Luján, localidad que en dos de sus vínculos llega al valor óptimo y en este caso es Exaltación de la Cruz (Capilla del Señor) la localidad más aislada. El comportamiento se manifiesta exactamente inverso cuando se calcula la trayectoria a ser realizada para la comunicación entre las localidades.

Finalmente, cuando entran en juego los pesos poblacionales como medida de atracción, el resultado mayor se vuelca hacia las localidades de mayor aglomeración, en este caso las mayores posibilidades de interacción se encuentran en Moreno y la distribución espacial *-comprándola con el mapa base-* disminuye en la dirección este-oeste, desde los sectores con mayor urbanización hacia donde predominan las zonas rurales.

La combinación de este resultado con el diagrama de bloque tridimensional (Mapa 6) es el resultado final de la tarea técnica. Base para un posterior modelo de simulación de escenarios futuros al momento de cambios en los valores poblacionales y en modificaciones en la fricción espacial.

Consideraciones Finales

Vivimos en la actualidad una amplia valoración del análisis espacial cuantitativo aplicado al tema redes. Sean de transporte o de comunicaciones cumplen un papel fundamental para la estructuración del espacio geográfico y generan las condiciones de accesibilidad y conexión necesarias que permiten favorecer todo plan de acción para el desarrollo regional.

A lo largo de este trabajo, hemos intentado mostrar algunas técnicas fundamentales de análisis regional cuando el objetivo de la aplicación es obtener medidas que puedan caracterizar el espacio relativo que se produce a partir de vínculos en red.

El camino en la perspectiva de análisis espacial que hemos presentado (desde el análisis de accesibilidad al de interacción) permite caracterizar diferentes tipos de situaciones ideales y reales, asimismo avanzar hacia la simulación de posibles escenarios en la búsqueda de las mejores situaciones de vinculación.

Bibliografía Consultada

Aran, D. 1998. Modelizació de l'accessibilitat dels espais forestals del paisatge a la plana del vallés. *VIII Coloquio del Grupo de Métodos Cuantitativos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección – Ponencias y Comunicaciones*. Universitat Autònoma de Barcelona. pp. 210-220.

Buzai, G.D. (Director). *Atlas digital de la cuenca del río Luján*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional de Luján. (versión CD ROM).

Buzai, G.D.; Baxendale, C.A. 2002. La construcción de regiones mediante técnicas geográficas cuantitativas. *Gerencia Ambiental*. 9(85):276-282.

Calvo Palacios, J.L.; Jover Yuste, J.M.; Pueyo Campos, A. 1992. Modelos de accesibilidad y su representación cartográfica: las redes española y valenciana. *Actas del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Universidad de Zaragoza. pp. 59-74.

Gamba Schwarsbäck, J.C. 1998. *Potencial Dinámico. Teoría y Aplicaciones. Argentina año 2050*. Edición del autor. Buenos Aires. (Edición en CD ROM, 2002).

Nogales Galán, J.M.; Gutierrez Gallego, J.A. Pérez Alvarez, J.A. 2002. Análisis de accesibilidad a los centros de actividad económica de extremadura mediante SIG. *Mapping Interactivo*. Universidad de Extremadura.

Warntz, W. 1975. La nueva geografía como teoría de sistemas espaciales: ¿cuenta mucho la vieja "física social"? En: Chorley, R.J. *Nuevas tendencias en Geografía*. IEAL. Madrid. pp. 137-187.

FIGURA

Cálculos de Accesibilidad e Interacción espacial para las localidades del área de estudio

