

# Cohesión territorial en el Paraná

## Un análisis con sistemas de información

Oswaldo Daniel Cardozo\*, Juan Ariel Insaurralde\*\* y Cristian Javier Da Silva\*\*\*

### INTRODUCCIÓN

Los análisis de conectividad en redes son una herramienta fundamental para el diagnóstico de la cohesión territorial, en vista de posibles intervenciones. Los espacios conectados ofrecen mejores oportunidades de acceso a diferentes puntos del territorio, mientras que, cuando la conexión no está asegurada, la accesibilidad se presenta como un problema y el resultado es un espacio con falta de cohesión o fragmentado.

En la realidad existen muchos elementos naturales y humanos de tipo lineales que pueden ser asimilados a redes, tales como ríos, carreteras, rutas del transporte público, líneas de ferrocarril, tendido eléctrico, ductos, etc. Sobre la base de sus características topológicas es posible agruparlos en tres tipos básicos (BOSQUE SENDRA, 1998): a) Arcos o nodos aislados que no tienen conexiones entre ellos; b) Árboles, estructuras lineales conectadas por al menos un arco; c) Redes, donde los nodos tienen más de una conexión y pueden formar estructuras de mayor complejidad (ciclos y circuitos).

Distribución de la Red Vial y Densidad Vial en el Paraná Medio

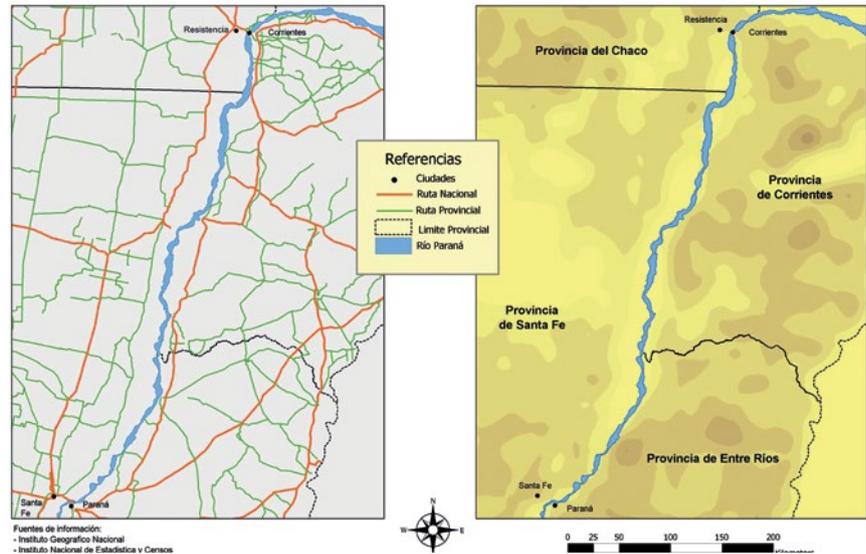


FIGURA 1: configuración actual de la red vial (izq.) y la densidad de rutas en el Paraná Medio (der.).

El río Paraná nace en Brasil de la confluencia de los ríos Grande y Paranaíba, formando el principal curso fluvial de la Cuenca del Plata. El marco espacial del presente es el Paraná Medio, uno de los tramos en que se divide el río Paraná desde la confluencia entre los ríos Paraná-Paraguay y la localidad de Diamante en la Provincia de Entre Ríos. Una primera aproximación sobre el tendido de la infraestructura vial en el Paraná Medio deja en evidencias las escasas conexiones entre ambas márgenes del río en un tramo de 720 km aproximadamente, lo que genera una importante brecha vial entre las provincias de Chaco y Santa Fe con Co-

rrientes y Entre Ríos. El condicionante natural impuesto por la presencia del río Paraná, es superada solo por dos puntos de conexión: Resistencia-Corrientes al norte y Santa Fe-Paraná al sur (FIGURA 1).

Esto no guarda similitud con otros tramos en la cuenca del Paraná ni con otros ríos de la Cuenca del Plata. Las conexiones sobre el río Paraná Superior (norte de Corrientes y Misiones) son 3 en 660 km, mientras que sobre el río Paraná Inferior (zona deltaica) son 2, pero en solo 350 km. Incluso sobre el río Uruguay (Entre Ríos y Corrientes), existen 5 conexiones en un tramo de algo más de 1000 km; tamaño desequilibrio la convierte en un área desfavorecida y constituye un serio obstáculo para su futuro desarrollo.

\* Doctor, Prof. Adjunto, Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades. UNNE. Campus Resistencia. odcardo@hum.unne.edu.ar

\*\* Doctor, Prof. Auxiliar. Departamento de Geografía, Facultad de Humanidades, UNNE Campus Resistencia. jainsaurralde@hum.unne.edu.ar

\*\*\* Profesor, Jefe de Trabajos Prácticos, Instituto de Geografía, Facultad de Humanidades. UNNE Campus Resistencia. cjdasilva@hum.unne.edu.ar



# medio. geográfica y grafos

## OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Nos proponemos realizar un análisis de la conectividad vial por rutas de jurisdicción preferentemente nacional y pavimentadas. Al mismo tiempo, se pretenden evaluar escenarios alternativos frente a la posibilidad de construir nuevas conexiones viales en el marco de obras de aprovechamiento hidráulico y económico de este tramo del Paraná previstas en el Plan Belgrano.

Para este tipo de análisis fue necesario el uso de técnicas apropiadas. En este sentido, la aplicación de medidas de conectividad basadas en la Teoría de Grafos junto a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) permitieron conocer y analizar el grado de conexión del área. Cabe señalar que la Teoría de Grafos, como rama de la Matemática, centra su análisis en las propiedades topológicas de una red, sobre la base del estudio de la conectividad y adyacencia de sus elementos, para lo cual simplifica la estructura real de la red a una organización geométrica más sencilla constituida por arcos y nodos.

La conectividad es un concepto central en este tipo de análisis. Rodrigue et. al. (2006) la definen como un grafo donde para todos sus pares de nodos hay un arco de conexión, por lo tanto, existen varios niveles de conectividad dependiendo del grado en que cada par de nodos está conectado con el resto del grafo.

De esta forma, las medidas de conexión miden el grado de conectividad recíproca entre los nodos de la red a través de sus arcos, siendo posible además ponderarlos con datos reales como longitudes, tiempo, frecuencias, población, etc. En esto reside gran par-

te del interés en utilizar grafos, ya que el incremento de las conexiones a través del tiempo implica un aumento en la cohesión espacial del territorio donde se emplaza la red (CARDOZO et. al., 2009).

Conocida la escasa conectividad vial en el Paraná Medio, para el análisis partimos del interrogante “qué pasaría si...”, pensando en los resultados que obtendríamos modificando el actual grado de conexión en la red. Es aquí donde recurrimos a la Teoría de Grafos para evaluar el efecto de los cambios en las conexiones.

Existen una serie de índices que evalúan la estructura y conectividad del grafo. En nuestro caso se calcularon los índices Beta, Alfa y Número Ciclomático (NC), junto con otras medidas complementarias, las cuales se describen en la TABLA 1.

El índice Beta ( $\beta$ ) surge de dividir el número de arcos entre nodos e indica cómo el aumento del número de arcos en la red representa una mayor conectividad entre los nodos; sus resultados

varían entre 0 y 3, donde valores  $\beta < 1$  indican una red inconexa, valores  $\beta = 1$  indican redes con un circuito,  $\beta$  ente 1 y 3 representan redes complejas con mayor cantidad de nodos conectados.

Una aplicación interesante del índice  $\beta$  es su comparación con el valor máximo posible, lo cual, indica la máxima conexión que podría alcanzar la red, a partir del cual también es posible calcular el porcentaje de conectividad. Sin embargo, este resultado debe ser interpretado con precaución, porque un valor de  $\beta = 100\%$  es totalmente ideal y alejado de lo que realmente se podría concretar en el territorio.

El Número Ciclomático ( $\mu$ ) expresa el número de circuitos que posee la red y se calcula restando al total de arcos ( $a$ ) el número necesario para construir un árbol, sabiendo que el árbol es igual al número de nodos menos uno ( $n-1$ ).

La última medida de grafos corresponde al índice  $\alpha$ , el cual expresa la existencia de circuitos en la red, y adquiere mayor sentido cuando se lo compara con el máximo número posible de cir-

TABLA 1:

### Medidas de conexión propias de la Teoría de Grafos

Denominación	Expresión matemática
Índice Beta	$\beta = a / n$
Máximo de Beta	$\beta_{\max} = n \cdot (n - 1) / 2$
Índice Alfa	$\alpha = (\mu / 2 \cdot n - 5)$ $\alpha = (\mu / 2 \cdot n - 5) \cdot 100$
Número Ciclomático	$\mu = a - (n - 1)$
Máximo posible de circuitos	$2 \cdot n - 5$
Árbol	$n - 1$

Fuente: Seguí Pons y Petrus Bey, 1991.

cuitos. Se obtiene del cociente entre el Número Ciclomático y el máximo posible de circuitos en la red; también se puede expresar en porcentaje a los fines comparativos.

Por otra parte, con las funciones de geoprocreso disponibles en SuperGIS Desktop, se efectuó el cálculo de densidad vial basado en una función local de tipo kernel, a los efectos de poner en evidencia la brecha vial entre ambos márgenes del río Paraná. Así también, por medio de operaciones de superposición espacial y un radio de 50 km, se estimó la cantidad de población distribuida en torno a las 12 ciudades (nodos del grafo), para observar la afectación directa de las nuevas conexiones.

## RESULTADOS

Partiendo de un estado inicial del tramo conocido como Paraná Medio donde la red con 12 nodos y 12 arcos forma un solo circuito en más de 700 km de extensión, las únicas conexiones viales se dan entre los nodos Resistencia-Corrientes y Santa Fe-Paraná.

A partir de esos valores de base, se evalúan nuevas conexiones (igual número de nodos, pero con 18 arcos) que podrían darse en un futuro, sobre todo para ver cómo se modificaría la conectividad en la red (TABLA 2). Cabe

aclarar que no es objeto de este trabajo realizar un análisis del sitio de localización de los futuros puentes sobre el río Paraná, ya que nos enfocamos en evaluar sus impactos en la conectividad vial.

Al desconocer las obras que se ejecutarán concretamente, se decidió evaluar el escenario futuro con todas ellas, es decir, 6 nuevas conexiones (FIGURA 2) donde se incluye, además de las nuevas localidades por conectar, el nuevo puente entre Resistencia (posiblemente desde Barranqueras) y Corrientes, junto a la nueva conexión que reemplazará al túnel subfluvial entre Santa Fe y Paraná.

El índice Beta nos dice que actualmente tenemos una red simple con un solo circuito ( $\beta=1$ ), y que de aumentar las conexiones pasaríamos a una red de cierta complejidad ( $\beta=1.5$ ), lo que en términos de máxima conectividad representaría un aumento del orden del 10% respecto a la situación actual, teniendo siempre en cuenta que la conectividad máxima ( $\beta=100\%$ ) es prácticamente inalcanzable. Algo interesante en el análisis de este índice es observar cómo el incremento de sus valores conforme aumenta el número de arcos en la red (TABLA 3), lo cual es más realista y lógico de ocurrir, puesto que las conexiones (puentes) se concretarán en forma paulatina.

Considerando el Número Ciclomático, vemos que la situación actual nos muestra un solo circuito en la red, mientras que la situación futura presenta una red con 7 circuitos, aunque se debería considerar solo 5, teniendo en cuenta que las nuevas conexiones en Resistencia-Corrientes y Santa Fe-Paraná se dan entre ellos mismos y no con otros nodos de la red.

Según los valores del índice Alfa calculados, la red actual ( $\alpha=0,071$ ) tiene un 7% de todos los circuitos posibles, lo que nos lleva a pensar en una conecti-

TABLA 3:

### Relación entre arcos e índice $\beta$

Numero de arcos	Valores de $\beta$
12	1,00
13	1,08
14	1,17
15	1,25
16	1,33
17	1,42
18	1,50

vidad baja entre sus nodos, mientras para la red futura se calcula un índice Alfa de  $\alpha=0,5$  lo que representa un 50% de los circuitos posibles, mostrando una clara ventaja frente a los valores de la red actual.

Si analizamos la población directamente relacionada (50 km de las ciudades) con las conexiones actuales, hablamos de algo más de 1.6 millones aproximadamente, mientras que con las nuevas conexiones el impacto directo aumenta casi un 20 % llegando a casi 2 millones de personas.

Sin embargo, más allá del impacto demográfico directo, el efecto se debe considerar a escala regional para el país y el continente, ya que por esas conexiones seguramente pasará buena parte del intercambio comercial entre Brasil y Chile que tiene vínculos con el **mercado** asiático (China, Japón, Australia, etc.).

**mercado**

TABLA 2:

### Conexiones (pares de ciudades) existentes y futuras en el Paraná Medio

Conexiones actuales		Conexiones futuras	
Resistencia	Corrientes	Resistencia	Corrientes
		Resistencia	Corrientes
		Villa Ocampo	Bella Vista
		Reconquista	Goya
		Alejandra	Esquina
		San Javier	La Paz
		Santa Fe	Paraná
Santa Fe	Paraná	Santa Fe	Paraná



## Red Vial en el Paraná Medio: conexiones actuales y futuras

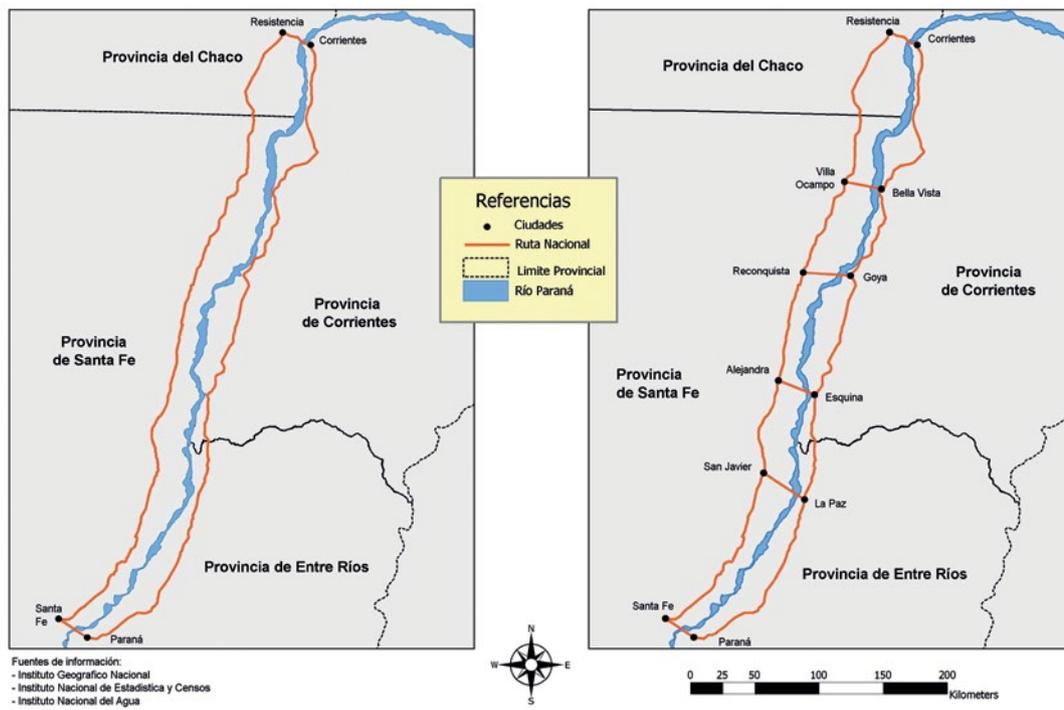


FIGURA 2: distribución de arcos-nodos para la red vial actual y con máxima conexión.

## CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de conectividad y planteo de escenarios futuros mediante simulaciones basadas en métodos y técnicas apropiadas para el análisis de redes pone en evidencia el potencial que presenta el Paraná Medio para el desarrollo regional de concretarse las nuevas conexiones viales, aunque, como se ha señalado, el aumento de conexiones no implica necesariamente una mejora en otros aspectos.

Cabe destacar que esta perspectiva permite ensayar y analizar situaciones que a futuro se podrían dar, lo que posibilita evaluar **al** impacto de las de-

cisiones antes de su implementación: un ejercicio muy valorado en tareas de planificación territorial.

La serie de índices calculados a partir del análisis de grafos indica un aumento del 10% en la conectividad ( $\beta$ ) respecto a la situación actual, como así también, la cantidad de circuitos en la red (Número Ciclomático,  $\alpha$ ), lo que significa claramente un aumento en la cohesión territorial. Si consideramos el impacto demográfico directa (a menos de 50 km), hablamos de una población cercana a los 2 millones de personas.

Finalmente, aunque no por eso menos importante, es la cuestión ambiental. Los efectos positivos que tendrán las nuevas conexiones viales en el Paraná Medio no deben hacernos olvidar que, por tratarse de un ambiente acuático muy sensible, la magnitud de la intervención humana que representa la construcción de una represa o puente podría alterar su equilibrio natural y generar un problema mayor a la solución buscada con el aumento de conectividad.

## BIBLIOGRAFÍA

- BOSQUE SENDRA, J. (1997). *Sistemas de Información Geográfica*. Madrid: Rialp.
- CARDOZO, O. D., PARRAS, M. A. y GÓMEZ, E. L. (2009). Teoría de Grafos y Sistemas de Información Geográfica aplicados al Transporte Público de Pasajeros en Resistencia (Argentina). *Transporte y Territorio*, (1), 13.
- RODRIGUE, J. P., COMTOIS, C. y SLACK, B. (2006). *The Geography of Transport Systems*. New York: Routledge.
- SEGUÍ PONS, J. M. y PETRUS BEY, J. M. (1991). *Geografía de Redes y Sistemas de Transporte*. Madrid: Síntesis.

## AGRADECIMIENTOS:

- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República Argentina.
- Supergeo Technologies Inc. All rights reserved. Licencia de SuperGIS Desktop 10. 5F., No. 71, Zhouzi St., Neihu Dist., Taipei, 114, Taiwan.