

Aplicación del módulo t-GIS en la evaluación de criticidad y vulnerabilidad de la red vial troncal nacional y tramos significativos de las redes viales provinciales

Daniel Álvarez.

IT

**INSTITUTO DEL
TRANSPORTE**

*DOCUMENTOS DE TRABAJO
INSTITUTO DEL TRANSPORTE*

NRO.9 AÑO 2018

* Daniel Álvarez. Docente Investigador del Instituto del Transporte de la Universidad Nacional de San Martín.



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN**

Universidad Nacional de San Martín

Rector

Dr. Carlos Greco

Decano del Instituto del Transporte

Lic. José Barbero

Documentos de Trabajo del Instituto del Transporte

Nº ISSN: 2469-1631

Director

Dr. Julián Bertranou

Comité Editorial

Lic. José Barbero

Lic. Daniel Álvarez

Lic. Carlos Leguizamón

Lic. José Luis Zárate

[Instituto del Transporte](#)

UNSAM Campus Miguelete, 25 de Mayo y Francia.

C.P.: 1650. San Martín, Provincia de Buenos Aires, Argentina Teléfonos: 4006-1500 Int 1301

Contenido

1. Reseña del estudio realizado.....	4
1.2. Datos requeridos para el análisis.....	4
1.3. Fuentes de información	11
2. Encaminamientos de los tráficos desde las áreas de producción; identificación de los principales flujos en la red vial	13
2.1. Creación del dataset - Matrices OD	15
3. Delimitación de los hinterlands portuarios	31
4. Caracterización de la vulnerabilidad y dificultades de accesibilidad en la red vial	38
4.1. Datos y método para el análisis de vulnerabilidad en la red vial	41
4.2. Efectos de las inundaciones en las carreteras	42
4.3. Vulnerabilidad en la red vial y criticidad de sus tramos	42
4.4. Metodología del cálculo de la accesibilidad potencial	47
4.5. Validación por regresión lineal y coeficiente de correlación de Pearson	51
4.6. Vulnerabilidad y criticidad, resultados de la metodología utilizada y aplicación del instrumento informático	53
5. Comentarios finales.....	66
6. Referencias Bibliográficas	68

1. Reseña del estudio realizado

Durante el proceso de elaboración del presente estudio se investigó detalladamente la aplicación del módulo t-GIS basado en un software para la determinación de los diferentes niveles de criticidad y vulnerabilidad en la red vial nacional y tramos significativos de las redes provinciales, con las consecuentes dificultades en la accesibilidad sobre la red vial. El resultado fue el desarrollo de un instrumento que, mediante su adaptación, arrojó como resultado las funciones analíticas necesarias para alcanzar el objetivo principal: determinar las consecuencias de los cortes de rutas producidos por inundaciones, identificando los efectos derivados de eventos naturales que supongan el cierre de ciertos tramos en las redes viales. Tal como fue programado, el instrumento es adaptable a un sistema ArcGis 10.4.1; las bases de datos disponibles fueron reestructuradas y se completaron los datos necesarios con los requisitos de compatibilidad del software utilizado.

La finalidad de aplicar el instrumento a la red vial nacional y tramos significativos de las redes viales provinciales fue agregar valor al análisis de su funcionalidad. En relación con el objetivo formulado se utilizó un módulo caracterizado como un instrumento para la determinación de la criticidad y vulnerabilidad en redes de transporte, desarrollado por el programa de investigación t-GIS del Departamento de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid, con el objetivo de aplicar las funciones del módulo a las bases de datos disponibles en Argentina. Obtener suficiente información, con la calidad y periodicidad necesaria para lograr el tipo de consultas (queries) requeridas en el presente estudio, fue una parte significativa de la tarea realizada.

Los ensayos iniciales comprobaron que el sistema es compatible con las funcionalidades del sistema ArcGis 10.4.1, mediante la modificación de los parámetros originales del instrumento, aplicado inicialmente en estudios referentes a casos de movilidad urbana. Una vez realizada la reparametrización, se ingresaron las afectaciones a la red vial reportadas por la Subsecretaría de Gestión de Riesgos del Ministerio del Interior y Obras Públicas, referidas a fenómenos naturales -en este caso inundaciones-, para determinar la criticidad de los tramos y la vulnerabilidad total de la red vial afectada por eventos climáticos periódicos debidos al fenómeno de El Niño.

1.2. Datos requeridos para el análisis

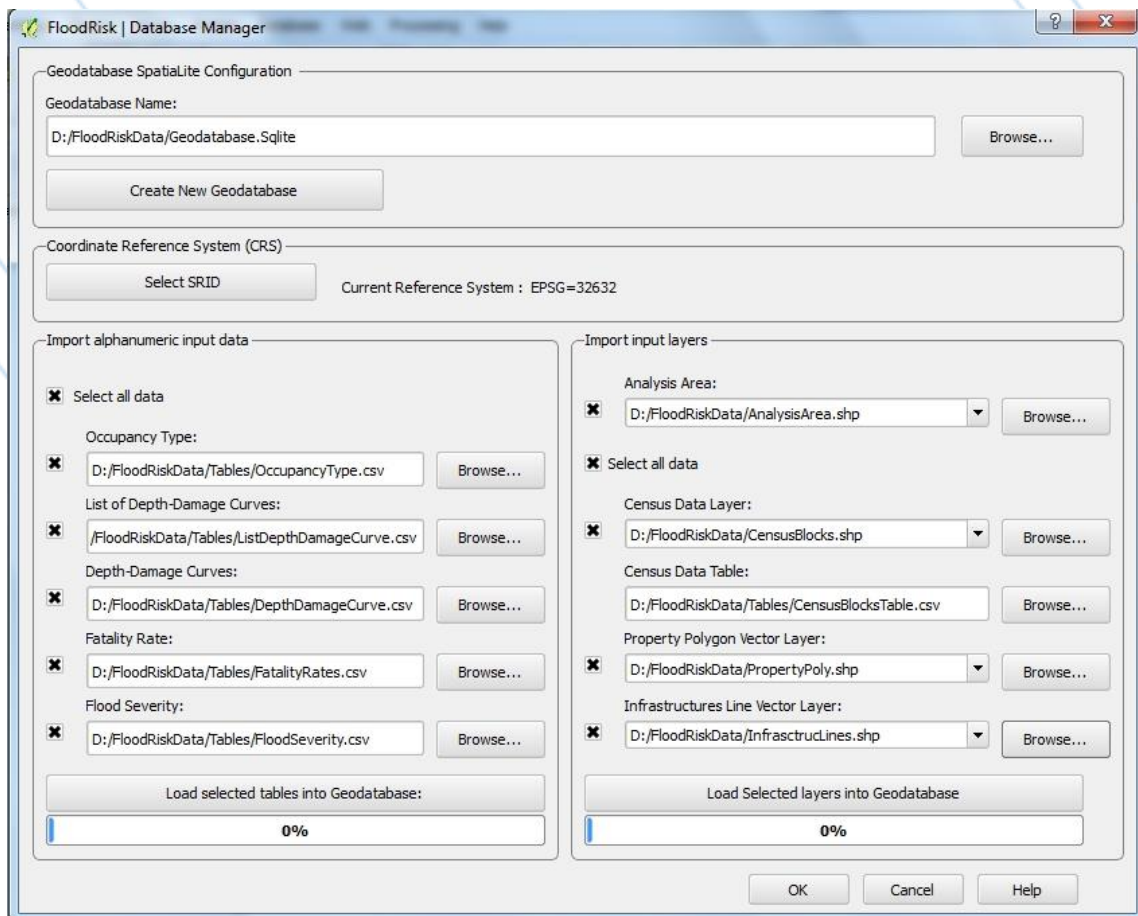
La herramienta realiza una evaluación de vulnerabilidad en la que se consideran diferentes escenarios y eventos estáticos, donde la probabilidad de cada escenario se estima individualmente y se calculan las consecuencias en forma estandarizada para todos los eventos a considerar. Los datos clave requeridos son: nodos, tramos, red vial, cantidad de toneladas transportadas, vehículos

expresados en tránsito diario medio anual (TMDA) clasificado por composición y volumen, atributos de la malla vial y variables dinámicas de flujo: distancia, tiempos y velocidad.

De esta forma, para la demostración del funcionamiento del plug-in, se utilizaron los datos correspondientes a cada uno de los nodos y tramos que componen la red vial nacional y su correlación con las toneladas transportadas por la red en conjunto, como así también los volúmenes del TMDA, distancia, tiempos y velocidad.

La ventana del gestor de bases de datos permite crear una nueva geodatabase espacial con el modelo de datos resultante y también posibilita la carga de todos los datos necesarios en la base. Los datos almacenados en la geodatabase están referidos a la criticidad y vulnerabilidad de las vías de circulación.

A continuación puede observarse el cuadro de dialogo determinado para el comando de la geodatabase.



La parte superior del database manager, permite crear una nueva geodatabase. Posteriormente a la creación de la geodatabase, y previamente a la carga de los datos geográficos, es necesario definir su sistema de referencia geográfica. Hasta que se realice la carga de la capa del Área de Análisis puede cambiar el sistema de referencia geográfica después que esta opción se encuentre desactivada. Para habilitarla nuevamente, la geodatabase debe encontrarse vacía de todos los datos geográficos (tablas AnalysisArea, CensusBlocks, StructurePoly e InfrastrLines). El lado izquierdo del database manager, permite cargar o actualizar las curvas de vulnerabilidad de los arcos expuestos a los factores críticos. Estos son datos alfanuméricos y se cargan desde los archivos CVS con punto y coma como separador de valores.

La parte derecha del database manager permite cargar o actualizar datos geográficos de los arcos expuestos a los factores críticos. Éstos son datos de tipología vectorial y se cargan desde los shapefiles. El sistema no posee escala propia, pero es flexible y capaz de procesar diferentes fuentes de datos: desde mapas de uso del suelo con un grado de detalle amplio, hasta mapas urbanos con alta desagregación espacial (nivel de detalle preciso y puntual). Con lo cual el detalle de los datos depende de la escala de la fuente cartográfica y, por lo tanto, la escala del resultado final depende de este insumo. Vale decir, que los datos de los arcos expuestos a los factores críticos pueden referirse a mapas de grandes áreas o mapas locales detallados, incluyendo los tendidos de redes, considerando que este es uno de los objetivos del presente estudio.

La lista de los shapefile requeridos es la siguiente:

- Analysis Area: forma de polígono.
- Censo de Datos Layer: polígono shapefile con campos CensID tipo Real; Tipo de residente Entero; Estacional como entero.
- Cuadro de datos del censo: archivo CSV con campos CensID y Resident.
- Propiedad Polygon Vector Layer: polígono shapefile con campos OccuType tipo VARCHAR (5); Valstr tipo Real; Valcon como Real.
- Infraestructuras Línea Vector Layer: shapefile de línea con campos OccuType tipo VARCHAR (5); Valstr tipo Real; Valcon como Real.

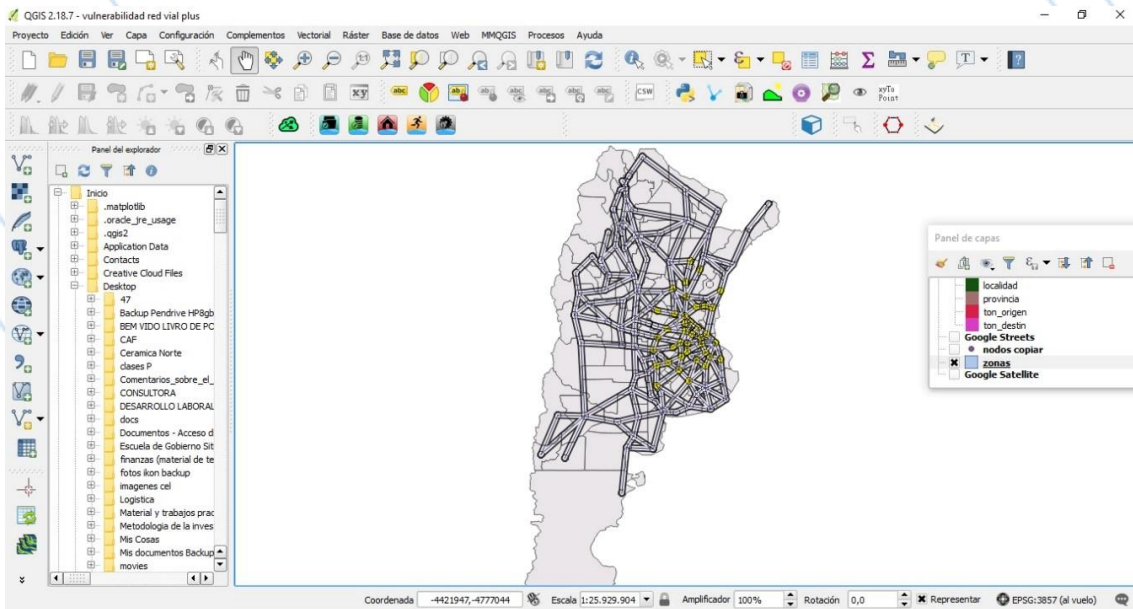
La configuración del campo de datos está determinada por la siguiente base:

nodos :: Objetos totales: 124, filtrados: 124, seleccionados: 40

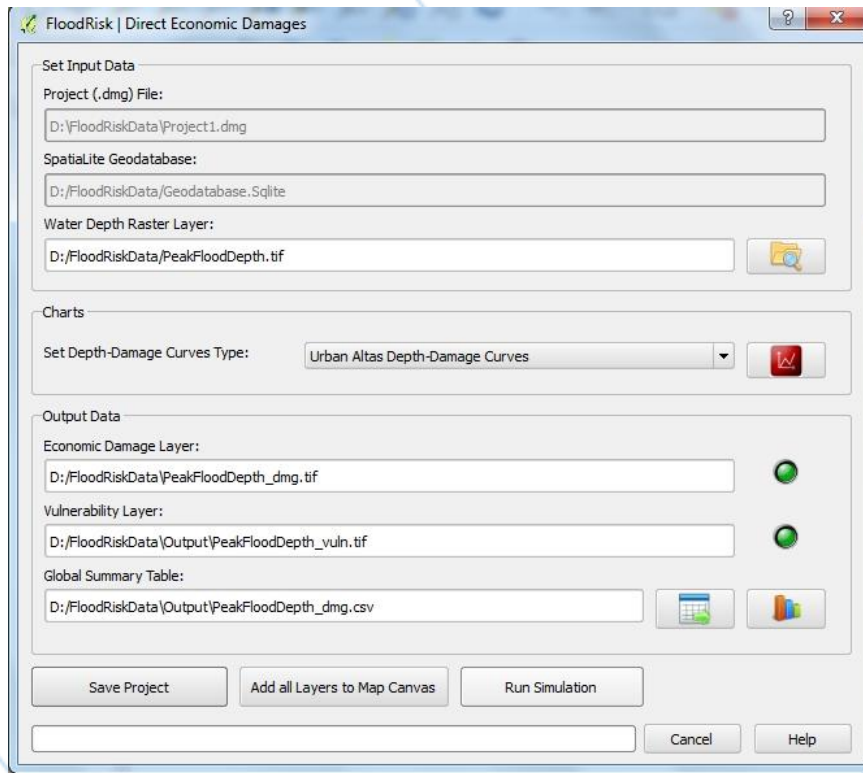
id_nodo	localidad	provincia	latitud	longitud	label_nodo	ton_origen	ton_destin	ton_imp_d	ton_imp_o	cartodb_id	created_at	updated_at
88	CHILECITO	La Rioja	-29.1659603	-67.5	87 - CHILECITO	103265.0000000...	95398.0000000...	0.00000000000...	501481.0000000...	87	2014-02-10	2014-02-10
89	LA RIOJA	La Rioja	-29.4128001	-66.8559803	88 - LA RIOJA	78350.0000000...	395192.0000000...	174690.0000000...	0.00000000000...	88	2014-02-10	2014-02-10
90	CHEPES	La Rioja	-31.3363895	-66.5918427	89 - CHEPES	21614.0000000...	49794.0000000...	0.00000000000...	143175.0000000...	89	2014-02-10	2014-02-10
91	JACHAL	San Juan	-30.2414761	-68.7466965	90 - JACHAL	4493.000000000...	43345.0000000...	169579.0000000...	42308.0000000...	90	2014-02-10	2014-02-10
92	SAN JUAN	San Juan	-31.5272732	-68.5214081	91 - SAN JUAN	768385.0000000...	986495.0000000...	0.00000000000...	2904393.0000000...	91	2014-02-10	2014-02-10
93	MENDOZA	Mendoza	-32.890183	-68.8440498	92 - MENDOZA	6586336.0000000...	3042194.0000000...	1247494.0000000...	1259295.0000000...	92	2014-02-10	2014-02-10
94	SAN RAFAEL	Mendoza	-34.6131516	-68.3410111	93 - SAN RAFAEL	303728.0000000...	745319.0000000...	1049875.0000000...	0.00000000000...	93	2014-02-10	2014-02-10
95	SAN LUIS	San Luis	-33.3022202	-66.3367976	94 - SAN LUIS	562672.0000000...	861459.0000000...	5908593.0000000...	3505278.0000000...	94	2014-02-10	2014-02-10
96	V. MERCEDES	San Luis	-33.690102	-65.465477	95 - V. MERCEDES	972345.0000000...	907877.0000000...	5312461.0000000...	0.00000000000...	95	2014-02-10	2014-02-10
97	ZAPALA	Neuquen	-38.9023615	-70.0653405	96 - ZAPALA	783539.0000000...	249009.0000000...	759747.0000000...	191885.0000000...	96	2014-02-10	2014-02-10
98	NEUQUEN	Neuquen	-38.9524444	-68.0641389	97 - NEUQUEN	2582810.0000000...	2132141.0000000...	353308.0000000...	0.00000000000...	97	2014-02-10	2014-02-10
99	S.A. OESTE	Rio Negro	-40.7428017	-64.9676514	98 - S.A. OESTE	88708.000000000...	1032045.0000000...	577721.0000000...	0.00000000000...	98	2014-02-10	2014-02-10
100	ING. JACOBACCI	Rio Negro	-41.3285255	-69.5493011	99 - ING. JACOB.	73714.000000000...	380421.0000000...	0.00000000000...	0.00000000000...	99	2014-02-10	2014-02-10
101	BARILOCHE	Rio Negro	-41.1334722	-71.3102778	100 - BARILOCHE	113789.0000000...	382401.0000000...	634407.0000000...	301156.0000000...	100	2014-02-10	2014-02-10
102	SUR (TRELAW)	Chubut - Santa C...	-43.2491302	-65.3074036	101 - SUR (TREL.	3179845.0000000...	2439361.0000000...	0.00000000000...	0.00000000000...	101	2014-02-10	2014-02-10
103	PERICO	Jujuy	-24.3761569	-65.118186	1001 - PERICO	0.0000000000000...	0.0000000000000...	1383356.0000000...	0.00000000000...	102	2014-02-10	2014-02-10
104	SAN FRANCISCO	Cordoba	-31.4249992	-62.0841599	1004 - SAN FRA.	0.0000000000000...	0.0000000000000...	1322227.0000000...	0.00000000000...	105	2014-02-10	2014-02-10
105	FEDERAL	Entre Rios	-30.9512291	-58.7988281	1011 - FEDERAL	0.0000000000000...	0.0000000000000...	0.0000000000000...	0.00000000000...	106	2014-02-10	2014-02-10
106	VILLAGUAY	Entre Rios	-31.8677008	-59.0269219	1012 - VILLAGUAY	0.0000000000000...	193494.0000000...	1518233.0000000...	509940.0000000...	107	2014-02-10	2014-02-10
107	CANALS	Cordoba	-33.5619736	-62.8815918	1020 - CANALS	0.0000000000000...	0.0000000000000...	981109.0000000...	1164713.0000000...	108	2014-02-10	2014-02-10
108	SANTA LUCIA	Buenos Aires	-33.8806915	-59.8757858	1021 - SANTA LU.	0.0000000000000...	0.0000000000000...	0.0000000000000...	0.00000000000...	109	2014-02-10	2014-02-10

Mostrar todos los objetos espaciales.

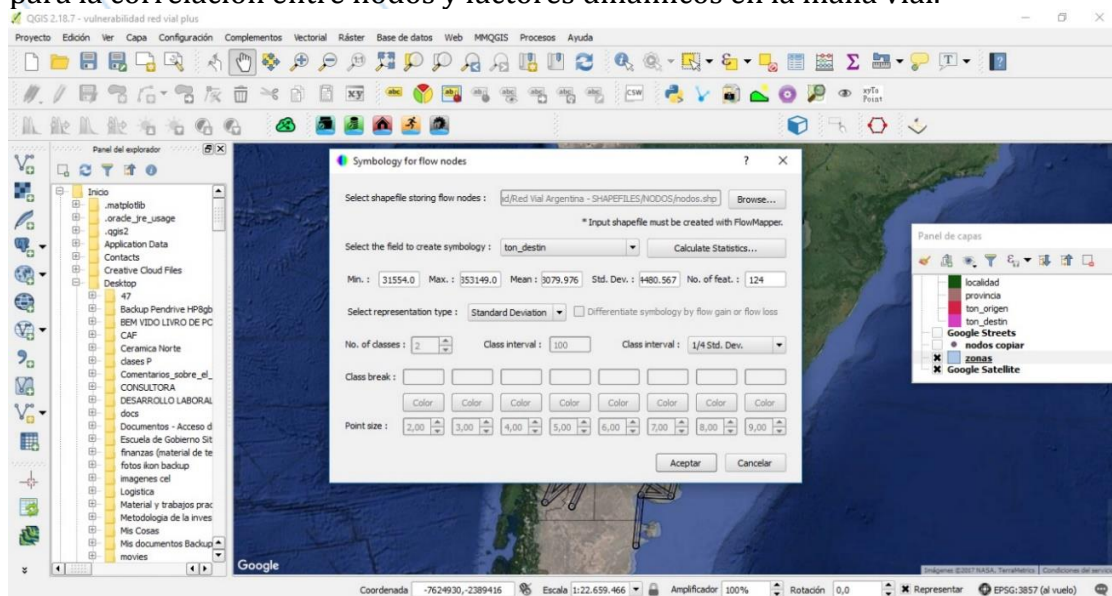
La salida grafica resultante a partir de la expresion cartografica es la siguiente:



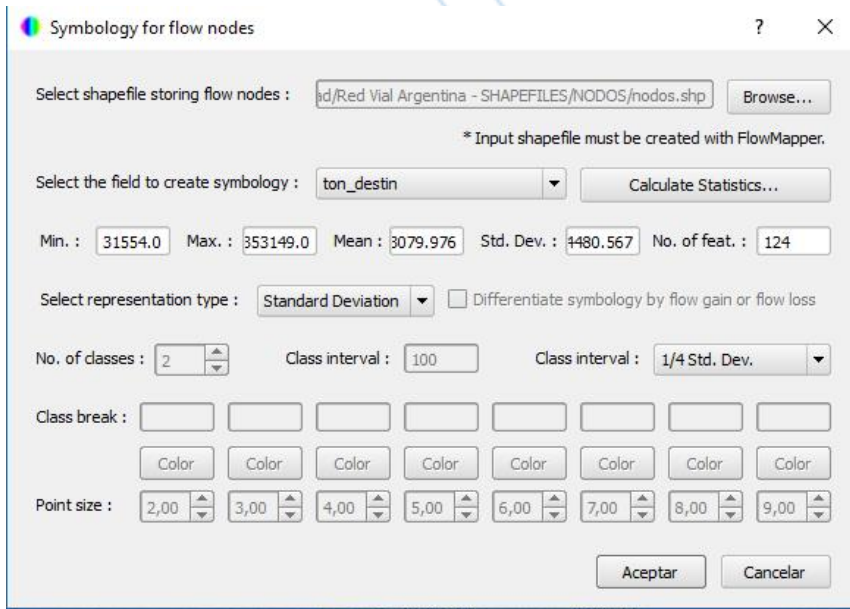
La función para la determinación del daño económico directo permite evaluar este factor como una de las dimensiones del impacto de criticidad y vulnerabilidad en la red vial esperada para la infraestructura y entorno del área de riesgo.



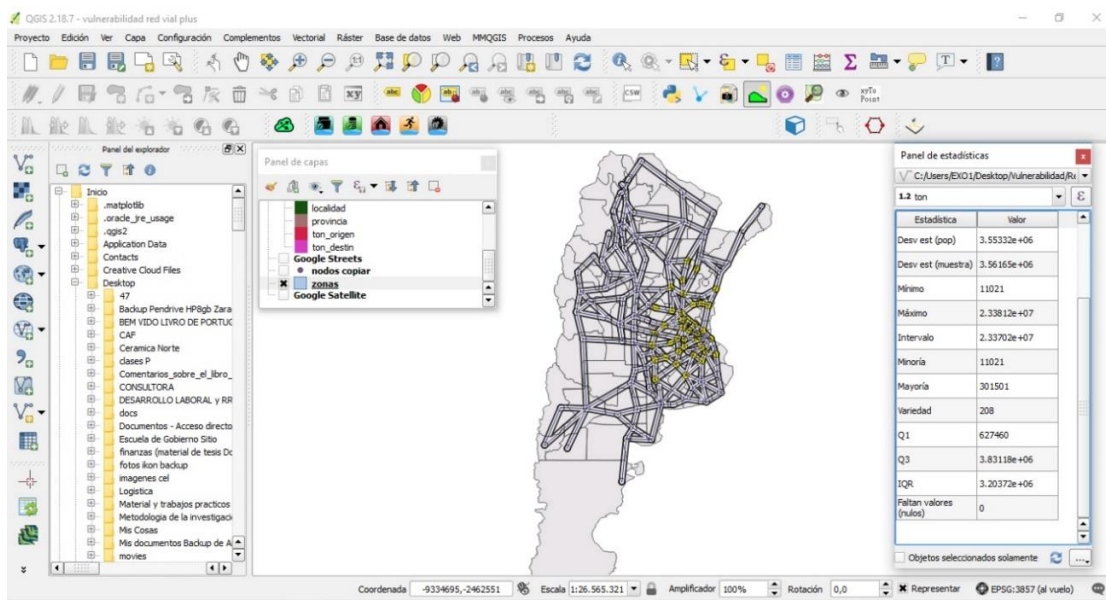
El instrumento de análisis presenta una significativa flexibilidad, lo cual permite realizar evaluaciones estadísticas; desviación estándar, mínima y máxima, que fueron tomadas como elementos de análisis e indicadores propios de la funcionalidad de la red vial. Los datos anteriormente procesados son cargados en el shape de nodos, tramos y red vial o tramos de red, dependiendo de cuál sea el resultado esperado del análisis. La siguiente imagen ilustra el comando utilizado para la correlación entre nodos y factores dinámicos en la malla vial.



Detalle del comando utilizado.

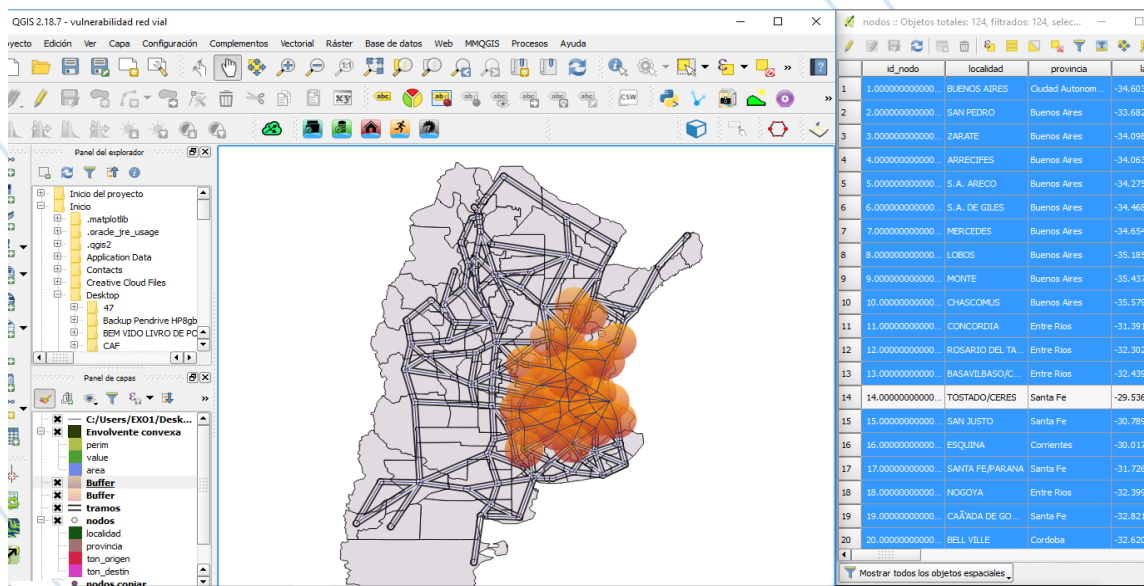


La operación estadística es traducida en la estructura y configuración de la red vial expresada gráficamente en el mapa, como se puede observar en la siguiente figura, los puntos amarillos reflejan las áreas de criticidad y vulnerabilidad correspondientes a los nodos indicados en la base de datos de la red vial, en función de los atributos e indicadores dinámicos de la infraestructura de soporte. Como también puede apreciarse aparecen indicados los resultados estadísticos en el cuadrante derecho junto al mapa, producto de las operaciones anteriormente mencionadas.

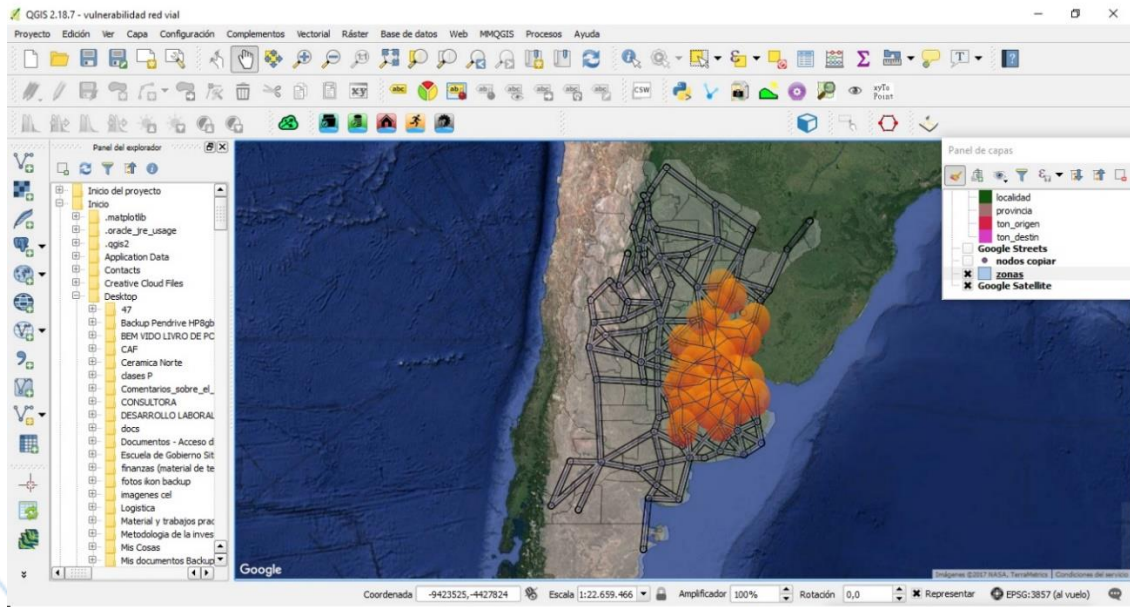


Aplicando directamente el modelo de criticidad a los shapes y las bases de datos, se obtiene como resultado un mapeo de la situación de vulnerabilidad en los puntos críticos del sistema carretero, correlacionados con los factores dinámicos, expresados en los indicadores descriptos. El archivo raster presenta zonas color naranja, con variación de intensidad que representan las áreas de mayor criticidad y vulnerabilidad, las cuales se van difuminando o haciendo más transparentes en las áreas periféricas de los puntos de mayor criticidad.

La siguiente figura da cuenta de la espacialización del análisis en la red vial.



Finalmente, en esta etapa, como fase de prueba del instrumento, es importante representar gráficamente el raster anterior contrastado con una imagen satelital. Esta opción permite un mayor nivel de detalle en la espacialidad de los diferentes procesos localizados territorialmente, en el momento de producir los análisis a diferentes escalas, fundamentalmente con mayor nivel de desagregación territorial y llegar de este modo a un detalle optimizado en las situaciones planteadas de criticidad y vulnerabilidad con episodios de interrupción o afectación de la red vial producto de eventos naturales. En el caso que nos ocupa, los factores de criticidad y vulnerabilidad están dados por 61 cortes en la malla vial generados por inundaciones durante el periodo 2015-2016. La resolución gráfica, al modificarse la escala, presenta una mayor definición.



El presente análisis, es el resultado de la calibración del instrumento y sus alcances en función de las bases de datos disponibles. El siguiente proceso del estudio implica la adaptación de la arquitectura y lógica de las bases de datos, en función de los requerimientos del instrumento. El resultado de la referida etapa de análisis correspondió a la simulación de todos los casos de vulnerabilidad por interrupción de arcos de la red vial producto de las inundaciones. Los resultados expresados en las salidas gráficas, representadas a escala local, provincial o regional, presentaran el cuadro de situación actual en función de los datos disponibles. Los resultados derivan de la información resultante del análisis cuantitativo, concretamente estadístico, como fuera indicado en la explicación de los alcances del instrumento para la determinación de la criticidad y vulnerabilidad en la red vial nacional y tramos significativos de las redes viales provinciales.

1.3. Fuentes de información

A continuación se detallan las fuentes utilizadas para el estudio del caso argentino, tanto en la construcción de los flujos matriz de origen y destino OD como en la caracterización del tipo y volumen de las cargas transportadas e infraestructura vial de soporte.

Para el dimensionamiento de los volúmenes de producción transferidos a los tráficos de cargas en la red vial, las principales fuentes utilizadas fueron el Ministerio de Agroindustria de la Nación, tanto a través del Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA) y la Dirección de Mercados Agropecuarios (DIMEAGRO) como de sus publicaciones sectoriales. Asimismo, se utilizaron los datos relevados por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, la Bolsa de Comercio

de Rosario, la Fundación INAI, la Fundación Producir Conservando y el Anuario J.J. Hinrichsen.

Con el fin de determinar la magnitud de la demanda de infraestructura y servicios de transporte, fueron relevados los datos de los 11 principales complejos exportadores del país, que equivalen a 82,7 millones de toneladas y representan el 94% de la producción agropecuaria, minera e industrial exportable de la Argentina. El objetivo es considerar estas cifras para la evaluación de escenarios prospectivos al año 2020. Las fuentes utilizadas fueron la Dirección General de Aduanas (DGA) y el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

Dado que no se difunden estadísticas públicas que permitan conocer de manera sistemática el movimiento de las cargas portuarias, se empleó información provista por el Banco Mundial, UNCTAD y CEPAL. Estas fuentes se complementaron con datos obtenidos de la Administración General de Puertos (AGP) y algunas terminales portuarias privadas (Exolgan y la Cámara de Puertos Privados Comerciales). También vinculado a estos temas, el C3T de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) ha resultado de suma utilidad.

Una fuente de información relevante empleada para la construcción de los encaminamientos de cargas en la red vial fue el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA), que releva la Dirección Nacional de Vialidad (DNV). Esto incluye datos de la red vial nacional y también de los tramos significativos de las redes viales provinciales, que constituyen los caminos accesorios que conectan los centros de producción al interior del país con las principales rutas troncales de acceso a los nodos portuarios. En el presente estudio se utilizaron mediciones de TMDA.

La DNV dispone de un inventario de las condiciones físicas y el estado de la red vial nacional, digitalizado en diferentes capas temáticas e instalado en un servidor de mapas para su consulta a usuarios autorizados por medio de un login. El producto que disponen es un inventario estático, con shapes de la malla vial que contiene datos sobre el estado de la red (clasificado por tipo de materiales; pavimentado, asfaltado, mejorado, tierra, pero no cuenta con el análisis de estado determinado por el índice de rugosidad IRI indicador adoptado internacionalmente en la identificación del estado de la red vial: bueno, regular y malo).

Por otra parte, la Subsecretaría de Gestión de Riesgos, dependiente del Ministerio de Seguridad, dispone de un relevamiento que incluye a los distintos tramos de la red vial nacional y redes provinciales que han sufrido afectaciones, así como el tiempo en que estos arcos de red se mantuvieron cortados a la circulación. Utilizando la referida información como insumo fue posible la simulación de situaciones de criticidad, vulnerabilidad y alteraciones en la accesibilidad a causa de las inundaciones, la metodología consistió en estudiar los efectos de los cortes simultáneos en diferentes arcos de la red vial.

Las fuentes de información fueron complementadas y validadas con entrevistas, realizadas a los principales actores logísticos nucleados en la FADEAC e informantes calificados de la DNV.

2. Encaminamientos de los tráficos desde las áreas de producción; identificación de los principales flujos en la red vial

Para la asignación de pares origen-destino OD se construyó una matriz con todos los casos posibles, según orígenes y destinos de carga asignada a los encaminamientos considerados. De este modo fue resuelto el problema de optimización del modelo de red simplificado, donde las variables a determinar son la cantidad de toneladas que corresponden a cada par OD posible, y la variable a minimizar, es la resultante de la sumatoria de las toneladas-kilómetro por cada par OD de la matriz. Esto significa que se buscó generar pares OD de manera tal que representen las distancias y tiempos medios óptimos en los trayectos entre centros emisores y receptores de flujos de transporte de cargas.

El análisis fue consolidado con la identificación de las rutas nacionales y provinciales que vinculan los principales orígenes de la carga con sus respectivos nodos de salida hacia los mercados externos. Se identificaron los encaminamientos de circulación de las cargas en los orígenes-destino relevantes, con el objeto de definir los principales corredores de la carga, e identificar cuáles son los que presentan mayores niveles de demanda de infraestructura vial.

El análisis de los flujos es indirecto y parte de inferir la relación de los tráficos obtenidos a partir de los TMDA por tipo de equipo de transporte. La categoría camiones con acoplado representa con bastante aproximación las cargas consideradas, fundamentalmente commodities agropecuarios destinados a la exportación; adicionalmente se ajusta el análisis identificando las zonas de producción y zonas de influencia portuaria. En tanto las cargas totales representan los flujos movilizados en tres circuitos, exportación, importación y abastecimiento interno. Teniendo en cuenta que los equipos de transporte considerados en las cargas totales (camiones sin acoplado, con acoplado y semirremolques, según el indicador de la DNV) operan la mayor parte del volumen transportado en los tres circuitos mencionados, los tráficos de contenedores destinados a la importación y exportación están incluidos en el análisis de esta categoría, es decir cargas totales. Podemos afirmar que el impacto comparado entre los volúmenes de cargas a granel destinadas a la exportación y el de las cargas generales contenerizadas con el mismo destino, representan una menor magnitud de presión en la red vial. Pero desde otra perspectiva, la problemática de los tráficos contenerizados reside en la congestión generada fundamentalmente en los entornos urbanos de las terminales portuarias del AMBA.

La información disponible para las redes provinciales pavimentadas es escasa y fragmentaria, las evidencias indican que la mayor parte del tráfico tanto de cargas como de pasajeros circula por la red vial nacional (representa aproximadamente el 80% de los tráficos de cargas). La red vial nacional tiene una extensión de 39.518 kilómetros de los cuales 35.214 están pavimentados. Por su parte, las redes provinciales cuentan con un total de 43.550 km de rutas pavimentadas.

A partir de la inferencia presentada, fue construido el indicador de niveles de presión sobre la red vial resultante de la conversión de los TMDA, medidos sistemáticamente en estaciones de aforo fijas pertenecientes a la Dirección Nacional de Vialidad, a toneladas. Este proceso de simulación y georreferenciación se realizó sobre la red vial nacional y tramos significativos de las redes viales provinciales, segmentados en la base de datos obtenida de los organismos viales, y digitalizados vectorialmente en las bases de datos y cartográficas, shapefile GIS, utilizadas para este trabajo. El análisis sistematizado permite realizar las consultas correspondientes entre los datos cuantitativos y los tramos de la red vial vectorizados. Las bases de datos estadísticas debieron ser reorganizadas de manera tal que permitan dialogar en el sistema con los ID vinculados a cada tramo de la red vial, provincia, localidad, o datos referidos a los diferentes pares de origen y destino de los tráficos de cargas identificados. Esta base de datos posee una arquitectura específica compatible con los requerimientos del sistema.

Los niveles de presión fueron calculados en función del peso bruto total del equipo de carga considerado en el análisis (incluye tara del camión) y en función de la clasificación de la DNV utilizada en los censos volumétricos y de composición TMDA. En el caso de la categoría “camión con acoplado”, como peso promedio fueron estimadas 30 toneladas por unidad. La relación entre el peso promedio por camión con acoplado y el TMDA determina las toneladas en los distintos tramos de la malla vial, definidos por los arcos y nodos que la componen.

En el caso de las cargas totales, y de acuerdo con el criterio de medición de la DNV, fueron consideradas las categorías camión sin acoplado, camión con acoplado y camión semirremolque. Considerando los pesos brutos promedio indicados para cada tipo de equipo de transporte, a saber: camión sin acoplado, 15 tns; camión con acoplado, 30 tns promedio; y camión semirremolque, 45 tns. Estos pesos brutos totales del equipo de carga considerado (incluyendo tara del camión) arrojan como peso promedio ponderado 40 tns. Del mismo modo que en la categoría camión con acoplado, la relación entre el peso promedio ponderado y el TMDA determina las toneladas en los distintos tramos de la malla vial considerada en el análisis. Para la construcción de las matrices dinámicas y los indicadores funcionales que operan sobre la malla vial, también fueron ponderados los equipos de transporte en situación de retornos vacíos (en lastre).

La fórmula general para calcular las toneladas pasantes anuales para un tramo a partir de su TMDA y la composición del tráfico es entonces (Muller y Benassi, 2010):

$$\text{Ton / tramo} = \text{TMDA} * ((\%CA + \%SE) * 15 + \%SA * 4) * 365$$

Donde

%CA: Porcentaje de camiones con acoplado

%SE: Porcentaje de semirremolques

%SA: Porcentaje de camiones sin acoplado

La simulación y representación gráfica de los niveles de carga sobre la red vial nacional, entonces, se logró utilizando los TMDA de cargas totales, que ofrecen una visión prospectiva respecto de los flujos de graneles orientados a la exportación y los diferentes niveles de presión en toneladas generadas sobre la red. Los productos finales quedan definidos por los 10 nodos de destino y las correspondientes provincias de origen de los flujos de graneles orientados a la exportación (iluminadas en los mapas), identificándose los complejos exportadores. Las salidas gráficas son mapas que representan por tramos los flujos de cargas, de camiones con acoplado (representativos de las cargas a granel de origen agropecuario).

2.1. Creación del dataset - Matrices OD

La matriz de origen-destino OD pretende establecer y medir las rutas de menor costo, tiempo y distancia en los arcos de red de la malla vial que vinculan los diferentes orígenes y destinos relacionados con los 10 complejos exportadores tomados en cuenta para este estudio. Se identificó la ruta óptima en la red de caminos para cada par origen-destino, los tiempos de viaje y las distancias que fueron almacenadas como atributos de los arcos correspondientes a cada encaminamiento que conecta los centros de producción del hinterland al nodo portuario considerado. Con lo cual, a partir de la configuración georreferenciada del sistema ArcGIS 10.4.1, fueron utilizados los atributos de los datos contenidos en los shapes con datos de la malla vial y atributos dinámicos, para elaborar una matriz mediante los correspondientes joints, tanto de la base original como de los algoritmos contenidos en el software ArcGIS 10.4.1. El proceso determinó la generación de un shape vinculante con todos los atributos y datos contenidos en las bases utilizadas, creando de esta forma un dataset de la red, instrumento que permitió modelizar y simular diferentes procesos en los arcos de la malla vial en forma automática. La información generada contiene la ubicación y los atributos de malla vial, como así también datos relacionados con la vinculación de las carreteras, cuáles están conectadas, y la afectación y funcionalidad de las diferentes rutas disponibles, entre otros datos relevantes.

Los encaminamientos viales quedan agrupados en función de los orígenes de los tráficos, ilustrados en cartogramas, con la localización de los diferentes nodos portuarios que constituyen los destinos de los principales complejos exportadores argentinos en términos de volumen. Los corredores viales constituyen conectores físicos vinculantes entre los pares OD. Se han definido diez nodos o gates regionales en función del tráfico de cargas en la red vial cubriendo cada par OD sobre la red vial y sus destinos:

- 1) Rosario – Paraná Medio
- 2) Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA)
- 3) Atlántico Bonaerense
- 4) Atlántico Sur
- 5) Andes Centrales
- 6) Río Uruguay
- 7) Noreste Argentino (NEA)
- 8) Noroeste Argentino (NOA)
- 9) Paraná Inferior
- 10) Paraná Superior

Los complejos oleaginoso y cerealero explican más del 60% del movimiento de cargas de exportación argentinas, medido en toneladas-kilómetro. A su vez, tres provincias (Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba) explican más del 80% de la carga de exportación medida en toneladas, originada por solo dos complejos productivos (oleaginoso y cerealero). Es debido a esto que se presentan en forma separada, en cada nodo, las cargas totales (que incluyen todos los complejos considerados, así como importaciones y tránsitos), y las realizadas en camión con acoplado (que incluyen sólo los complejos cerealero y oleaginoso), entendiéndose que el tráfico de estas últimas cargas está comprendido -de manera indiferenciada- en los mapas de cargas totales. Dada la diferencia en volúmenes, la escala en lo que refiere a los vectores de presión es diferente, por lo cual esta observación deberá ser tenida en cuenta a la hora de comparar los mapas correspondientes a cada caso.

También se incluye en los mapas los orígenes de las cargas por provincia respecto del nodo correspondiente (provincias de origen iluminadas). No obstante, debe aclararse que no existe una correlación fehaciente entre los datos de origen de las cargas (registro de exportaciones) y los volúmenes en toneladas de éstas sobre la red vial (deducida de los TMDA), dado que los primeros están desagregados a nivel provincial, careciéndose de mayores precisiones sobre los referidos datos. Esto es resultado de incompatibilidades entre las bases de datos utilizadas. Es decir, en la determinación de los encaminamientos fueron priorizados los datos provenientes de la DNV, expresados en TMDA convertidos a toneladas, dejando a título ilustrativo el desagregado provincial de los orígenes aportados por la DGA, si bien el desglose de los TMDA de camiones con acoplado en los segundos mapas, se estima una mayor precisión en su vinculación con las exportaciones de oleaginosas y cereales en ese orden.

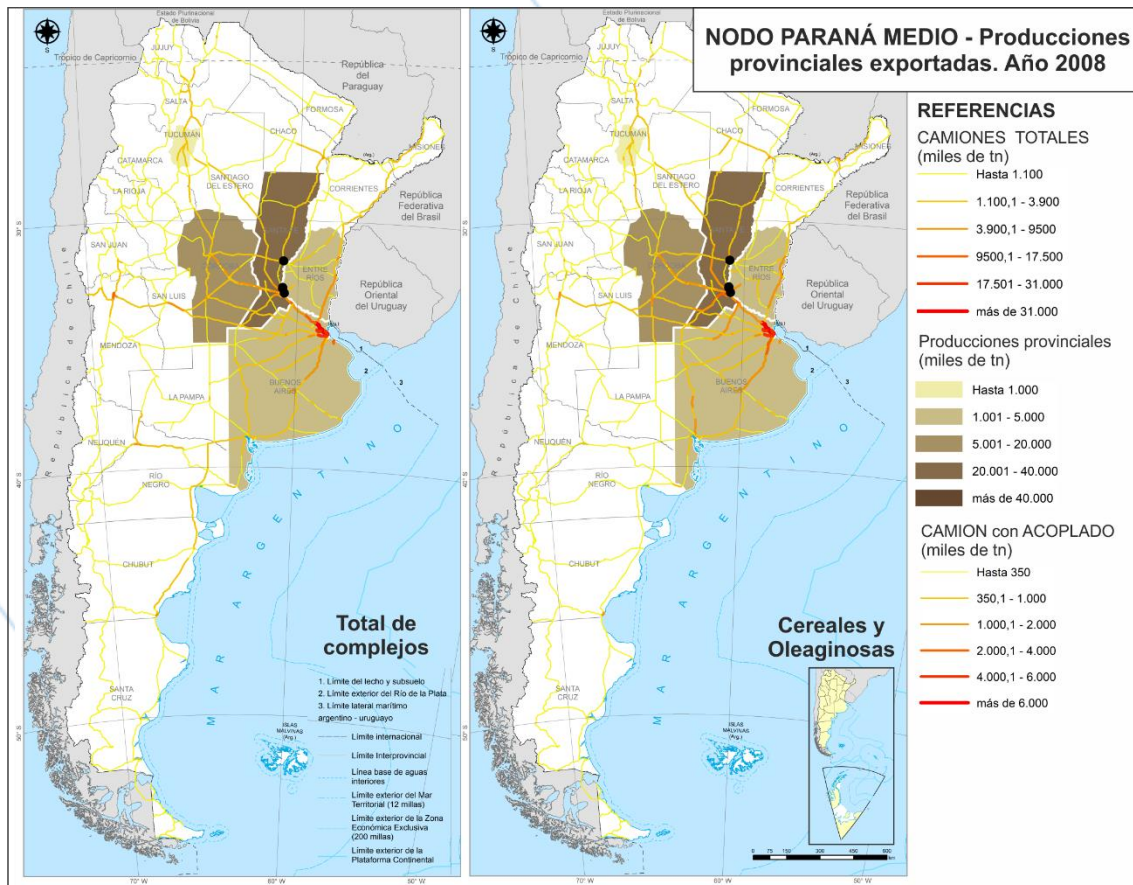
Para determinar los principales hinterlands se realizará un balance similar, priorizando la desagregación territorial de orígenes por localidades o centroides, en este caso no por provincias, en base a los datos de la DGA e INDEC. En los siguientes puntos, entonces, será analizada la situación de los principales encaminamientos de cargas, organizados en los 10 nodos ya mencionados.

Nodo Rosario – Paraná Medio

Las terminales del Paraná Medio concentran el grueso de las exportaciones de los complejos oleaginoso y cerealero, comprenden los mayores volúmenes de exportación del país, con un muy reducido número de orígenes provinciales (Córdoba y Santa Fe en el rubro oleaginoso, centrado en la soja; Córdoba, Tucumán, Entre Ríos y Buenos Aires en el cerealero, con una proporción menor de Santa Fe). Se añaden a éstos algunos volúmenes de menor magnitud del complejo minero, con origen en Catamarca (mineral de cobre y concentrados), que llegan a puerto por ferrocarril, así como cereales que representan algo más de la mitad de la producción exportable de Tucumán. Como puede apreciarse en la similitud de los mapas, los volúmenes relevantes son los graneles agropecuarios.

Sobre las rutas nacionales que vinculan las provincias de Córdoba, Santa Fe y Buenos Aires con el nodo de Rosario Paraná-Medio circulan los mayores volúmenes de carga a granel del país. Considerando que a través de este nodo se despacha el 63% del volumen de exportaciones y que la mayor proporción de cargas se transporta en camión, las redes viales que vinculan Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires con los puertos del Paraná Medio registran una alta proporción de tráfico pesado. Para las cargas originadas en Córdoba y Santa Fe, los corredores más importantes son las RN9, 11, 33 y 34; en tanto que las RN188 y 226 lo son para las cargas con origen en Buenos Aires (con volúmenes significativamente menores). Estos corredores viales son aún más relevantes si se considera la fuerte superposición del tráfico de graneles con cargas correspondientes a otros pares OD relativamente menores (como los dirigidos hacia los nodos Andes Centrales o AMBA) y con vehículos particulares.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Rosario Paraná-Medio



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA)

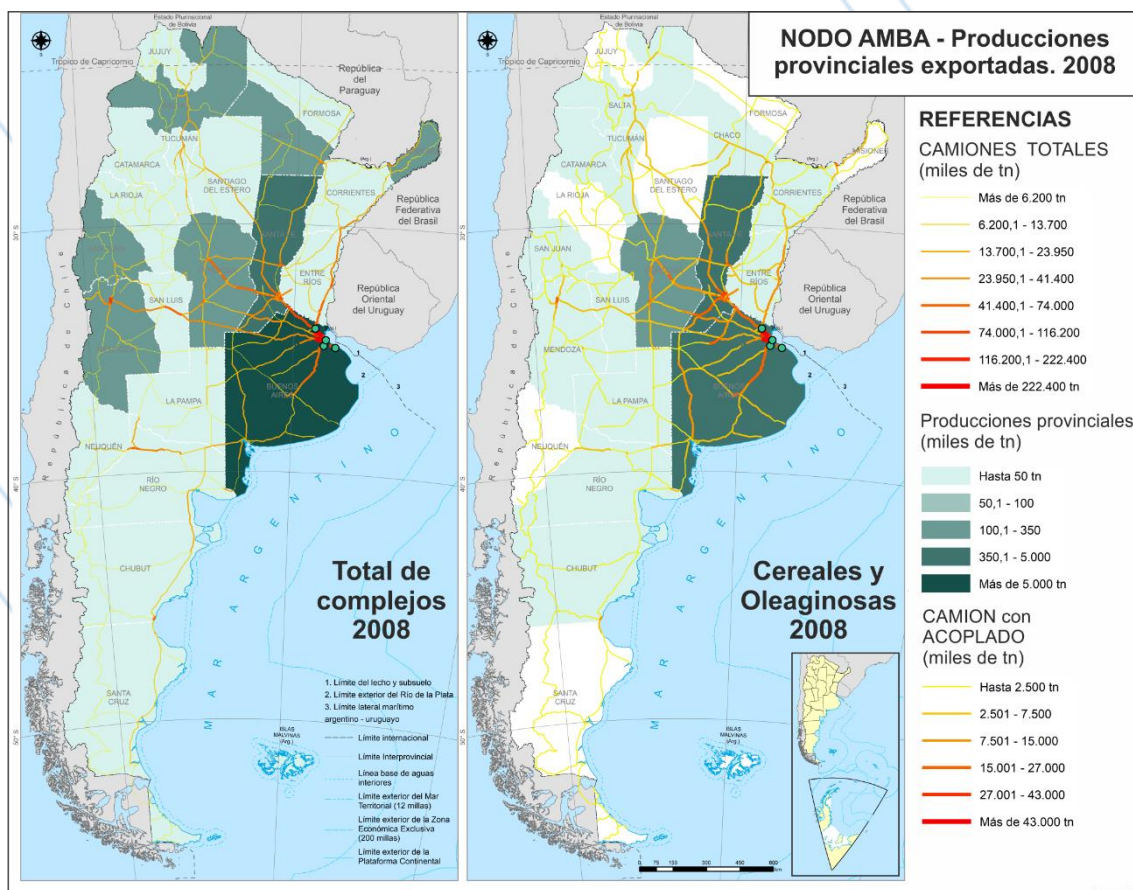
A través del nodo AMBA se despachan cargas cuya diversidad es mayor en términos de orígenes provinciales y complejos involucrados respecto de Rosario, con un marcado predominio de la provincia de Buenos Aires como origen de los tráficos (esto se atenúa al focalizar en graneles agropecuarios).

Como un reflejo de la importancia de este nodo a nivel nacional, la carga exportada a través de los puertos del AMBA (Buenos Aires, Zárate, Campana y La Plata) se concentra en las rutas nacionales 14, 9 y 3, con un marcado aumento de la presión en los tramos cercanos a los accesos a la región metropolitana, y en particular en el tramo de la ruta nacional 9 que une la ciudad de Buenos Aires con Zárate y Campana. Otros complejos, como el vitivinícola en Cuyo y el forestal en el NEA, registran encaminamientos y el nodo de salida a través de los puertos del AMBA. Los complejos automotriz, siderúrgico y petroquímico determinan este nodo portuario como plataforma de exportación (Zárate cuenta con la única terminal del país especializada en exportación de vehículos).

El complejo petrolero-petroquímico posee una gran incidencia en el volumen total que aporta la provincia de Buenos Aires, representando el 56% de los despachos del nodo. Se trata de petróleo crudo proveniente de Plaza Huincul (Neuquén) y de las cuencas australes, que se transporta por oleoducto y buque

respectivamente, y se procesa en los mismos puertos. Aun excluyendo el complejo petrolero-petroquímico, las cargas originadas en la provincia de Buenos Aires representan la mayor proporción de los despachos de este nodo, y pertenecen a los complejos cerealero y siderúrgico. Las redes viales involucradas en estos tráficos son las RN9, 7, 8 y 193. El transporte ferroviario, a través de FEPSA y NCA, en menor escala. Las cargas provenientes de Santa Fe circulan en mayor proporción sobre la RN9 y corresponden a los complejos automotriz, oleaginoso y cerealero, al igual que las originadas en Córdoba. Los tráficos del complejo vitivinícola con origen en Mendoza, San Juan y Salta, y los del complejo forestal desde Chaco y Misiones, son también relevantes.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo AMBA



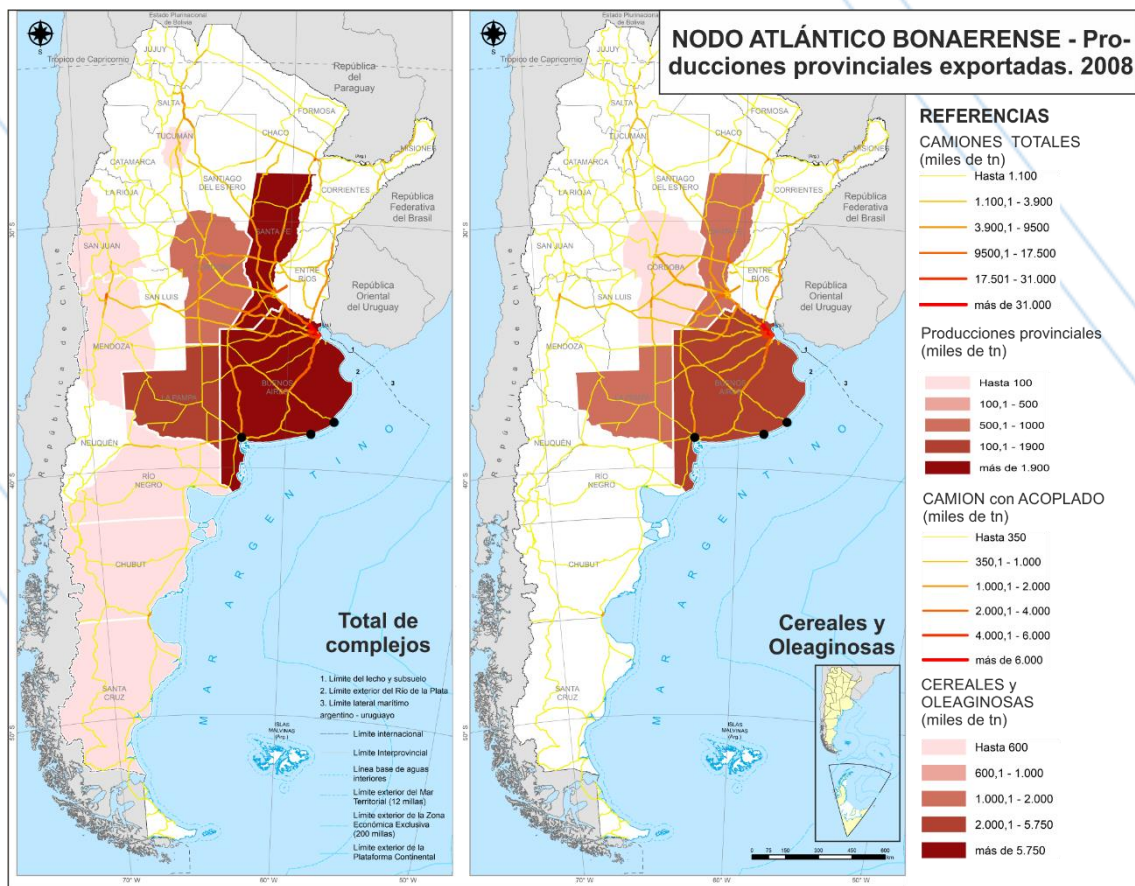
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Atlántico Bonaerense

Los nodos de salida del Litoral Atlántico muestran una especialización en el manejo de cargas de complejos específicos, con orígenes concentrados en sus respectivas regiones de influencia. Los Puertos de Quequén y Bahía Blanca se orientan respectivamente a cargas de cereales/oleaginosas y a cargas del complejo petrolero-petroquímico. Los orígenes se encuentran nuevamente

concentrados en la misma provincia de Buenos Aires. Los tráficos de cereales dominan los flujos en este par OD, y circulan sobre las RN33, 3, 226 Y 188. El ferrocarril Roca (FEPSA) también participa, si bien minoritariamente respecto del camión, en el transporte de estas cargas. Los flujos del complejo petrolero-petroquímico llegan a los puertos por ductos o buques. En los flujos provenientes de La Pampa predomina el complejo cerealero, circulando a través de la RN 35. Córdoba pierde relevancia en el tráfico de graneles, si bien deriva una proporción de los tráficos de oleaginosas hacia Quequén a través de las RN 33 Y 35. El puerto de Bahía Blanca absorbe dos tercios del volumen despachado a través del nodo.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Atlántico Bonaerense



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

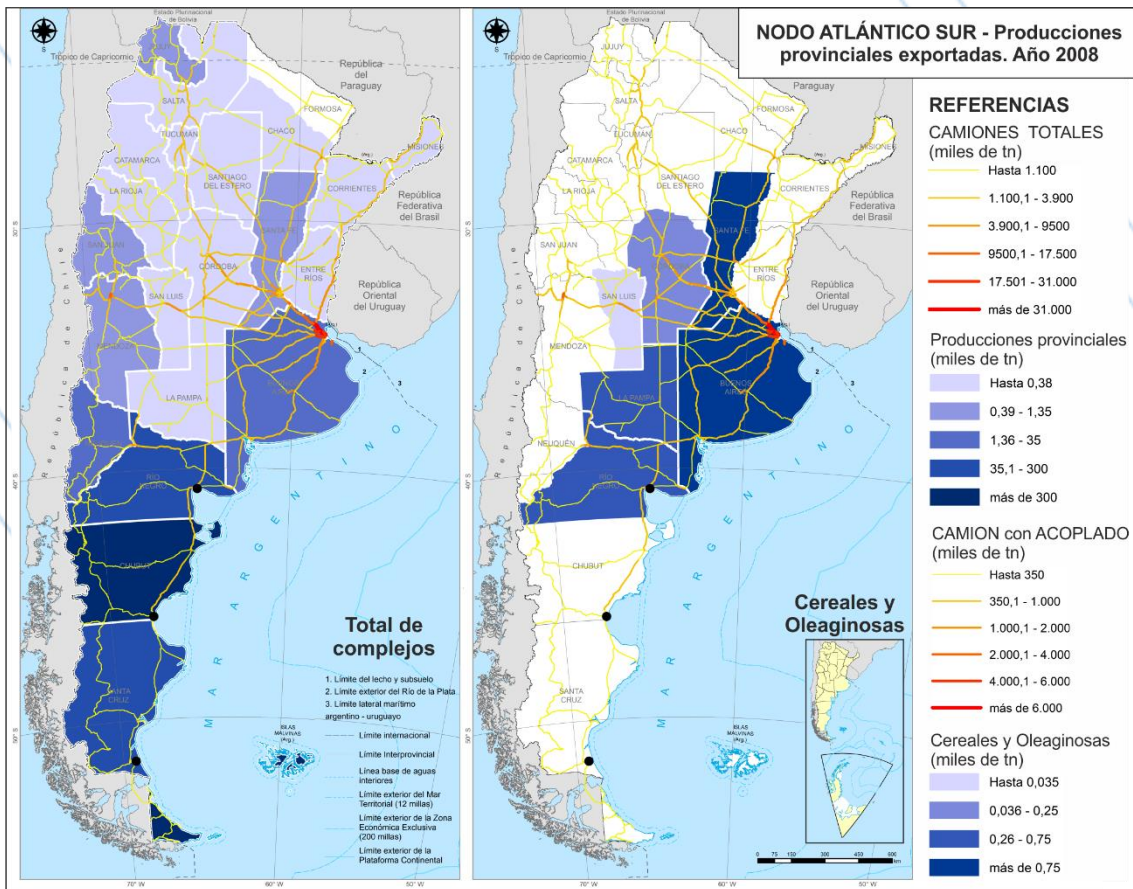
Nodo Atlántico Sur

Por su parte, el nodo Atlántico Sur muestra una fuerte concentración en tráficos del polo petrolero-petroquímico, con origen en la provincia de Chubut. El transporte de estos flujos se realiza mayoritariamente por ductos y en menor proporción por camión, a través de las RN40 y 26. En comparación, la recepción

de graneles agropecuarios es insignificante y circunscripta a San Antonio Este, considerando que en Río Negro termina la superficie sembrada.

La ruta nacional 3 es el principal corredor, en términos de volumen de tráficos de cargas, que conecta los puertos más importantes del nodo. Algunos tramos de la ruta 22 siguen en importancia relativa en el movimiento de diferentes productos. El complejo petrolero/petroquímico tiene un peso determinante en el origen de la carga, seguido en importancia por los frutícola y vitivinícola (en Río Negro, con cargas procedentes del Alto Valle). Si bien la densidad de la carga exportada a través de la red vial es relativamente baja (en parte como reflejo del tipo de carga transportada), los accesos a Rawson (Chubut) y algunos tramos de la Ruta 22 presentan niveles críticos de tráfico.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Atlántico Sur



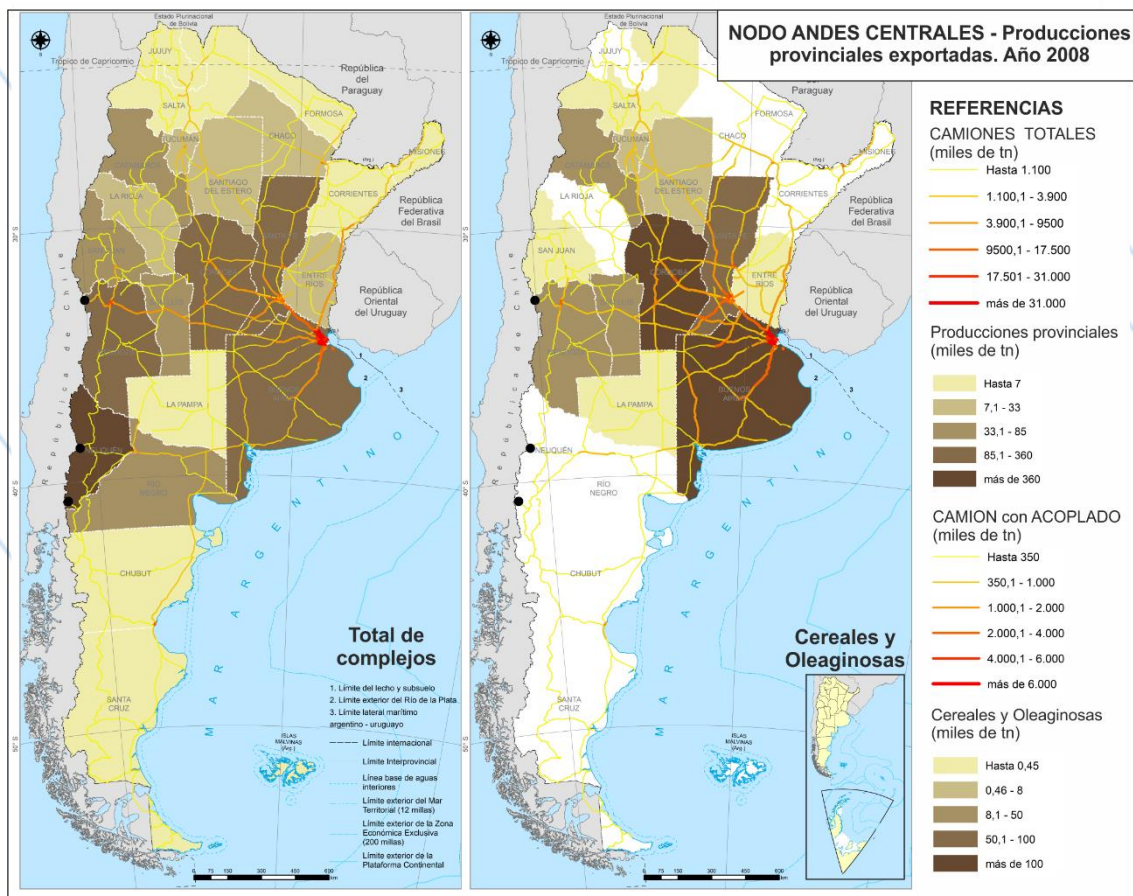
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Andes Centrales

Este es uno de los dos principales nodos de salida terrestre, siendo el otro el del Río Uruguay. En ambos casos los orígenes provinciales aparecen fuertemente concentrados, pero con diversidad de complejos en la composición de los tráficos.

Para el caso del nodo Andes Centrales, la figura muestra una gran variedad de complejos con origen en Mendoza, Neuquén y Buenos Aires. Las cargas originadas en Buenos Aires utilizan las RN 7, 9, 33, 188 y 226, y también las RP 6 y 34. Los flujos originados en la provincia de Mendoza corresponden fundamentalmente a cargas del complejo “uva y vitivinicultura” y el hortícola, y utilizan las RN 7, 40, 143 y 242. Las cargas originadas en Córdoba fluyen a través de las RN 7, 8, 9, 20, 36 y 142 (sólo Córdoba y Buenos Aires tienen volúmenes significativos de graneles agropecuarios). El paso fronterizo con Chile Cristo Redentor es el de mayor relevancia en el nodo, con el 62% de la carga, seguido por el Paso Cardenal Samoré.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Andes Centrales



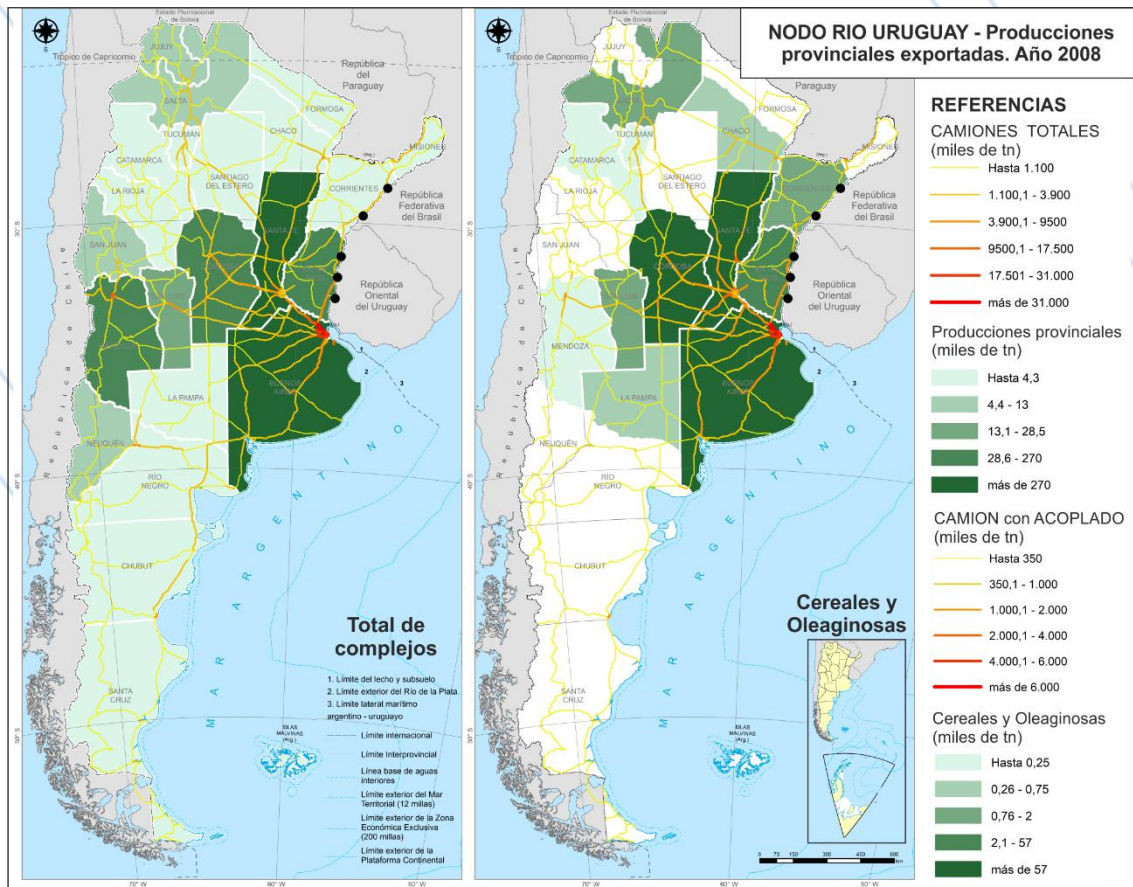
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Río Uruguay

Por su parte, en los gates de la costa del Uruguay se puede observar una diversidad de complejos, con origen en el litoral y en la región pampeana, entre los que sobresale el automotriz, que había surgido con volúmenes reducidos en

el nodo AMBA. Buenos Aires concentra los mayores volúmenes hacia este nodo, en los que participan de manera relativamente equilibrada los complejos hortícola, automotriz y cerealero. Las cargas automotrices circulan con intensidad a través de la AU14 y la RN9, en tanto que los restantes complejos se encuentran más dispersos en el territorio de la provincia, utilizando varias vías incluyendo las RN5, 6, 226, 12 y AU14, y la RP 51. Las cargas que se dirigen hacia el nodo Río Uruguay desde Santa Fe pertenecen en una importante proporción a los complejos automotriz, siderúrgico y oleaginoso. Los tráficos circulan a través de las RN9, 11, 12, AU14, 18, 19, 33, 34 y 174. Paso de los Libres concentra los mayores volúmenes de este nodo, con un 40% del total del volumen de tráfico, seguido de Santo Tomé-São Borja y Concordia-Salto con 27% y 25% respectivamente. Los graneles agropecuarios ocupan en este nodo un lugar secundario respecto del complejo automotriz.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Río Uruguay

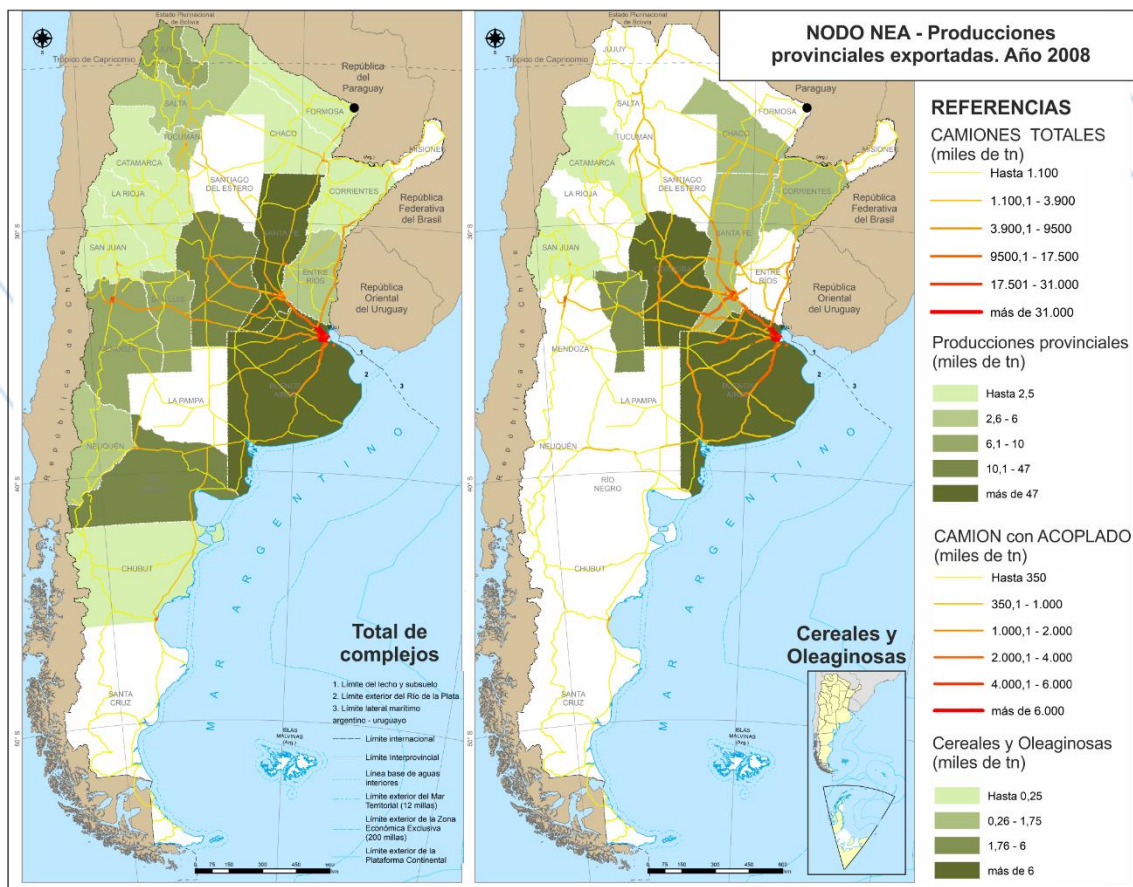


Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Noreste Argentino (NEA)

La ruta nacional 11 presenta los mayores niveles de presión crítica en el Noreste Argentino (NEA), en especial en las cercanías y accesos a la ciudad de Resistencia (provincia del Chaco), junto con algunos tramos de la ruta 14 que conecta la ciudad de Posadas (provincia de Misiones) con el mercado paraguayo y los nodos del AMBA. Algunos tramos de la RN 11, en particular aquellos que conectan el NEA con el nodo de los puertos de Rosario, también presentan niveles de carga elevados. Los volúmenes de agrograneles no son significativos. En general se trata de un nodo con bajo volumen de tráfico en comparación con los del bajo litoral paranaense; ninguno de sus orígenes provinciales llega a las 100 mil toneladas, circulando en total algo más de 200 mil toneladas por su principal gate, Clorinda, frente a Asunción del Paraguay.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Noreste Argentino (NEA)

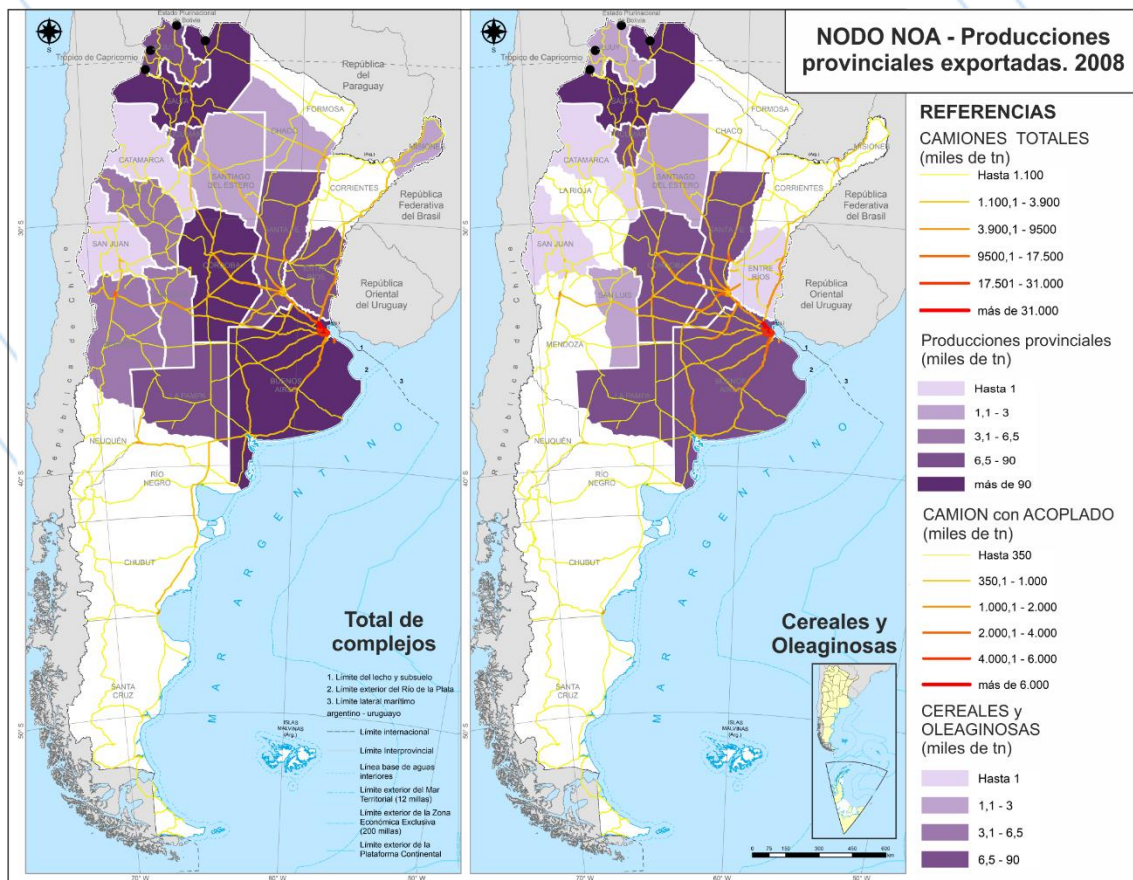


Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Noroeste Argentino (NOA)

Los nodos de salida que conectan las exportaciones del Noroeste Argentino (NOA) hacia los mercados chilenos y bolivianos, todos ellos pasos terrestres, presentan niveles de carga relativamente reducidos. La provincia de Salta aporta un tercio de los tráficos, principalmente del complejo cerealero, con una participación menor del petroquímico; Tucumán también origina tráfico de agrograneles. La RN 9, y algunos tramos de las rutas 66 y 34, son los corredores que presentan los mayores niveles de tráfico crítico de la carga. De forma significativa, y como reflejo del relativo bajo movimiento comercial a través de los pasos de frontera existentes, los tramos de la red vial que conectan al NOA con Chile y Bolivia muestran niveles de tráfico relativamente reducidos.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Noroeste Argentino (NOA)



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

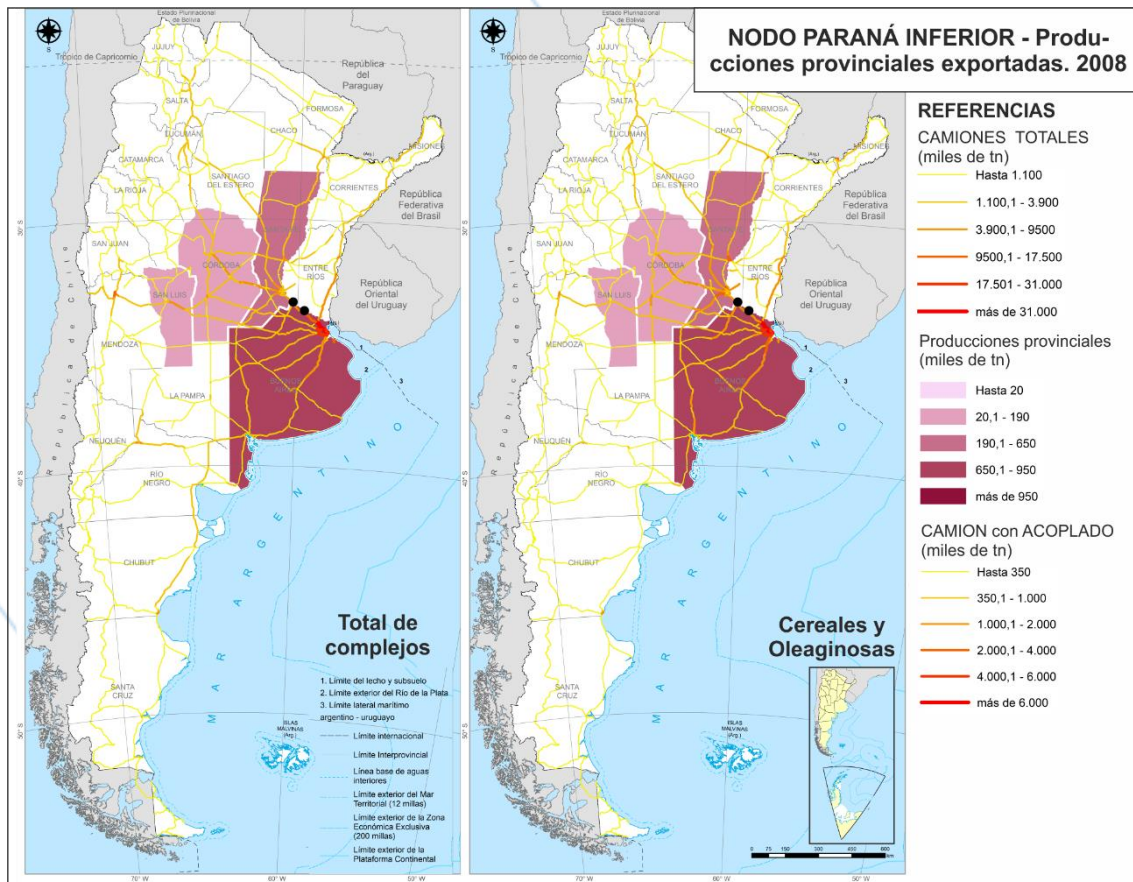
Nodo Paraná Inferior

El nodo, que agrupa a los puertos bonaerenses del litoral, como San Nicolás, Ramallo y San Pedro, funciona en la práctica como una extensión hacia el sur de los puertos del nodo Paraná Medio, compartiendo con éstos los orígenes principales: oleaginosas del sur de Santa Fe y Córdoba, y cereales y oleaginosas de la provincia de Buenos Aires, con el agregado de cargas del complejo siderúrgico también provenientes de esta provincia. A esto se suma una proporción menor de cereales provenientes de San Luis.

En la última década los gates de San Nicolás y San Pedro fueron perdiendo tráficos (el primero a manos del vecino puerto santafesino de Villa Constitución), mientras que Ramallo, a partir del desarrollo de un complejo de crushing de soja, llegó a quintuplicar las en volumen de cargas procesadas (en la actualidad en dicho puerto proyecta la construcción de una terminal adicional de cargas generales).

Estos gates experimentan, como los del AMBA, la congestión de la ruta nacional 9 entre Buenos Aires y Rosario, ya que deben utilizar la misma infraestructura vial de acceso y distribución de las cargas de la región, particularmente cereales y oleaginosas.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Paraná Inferior



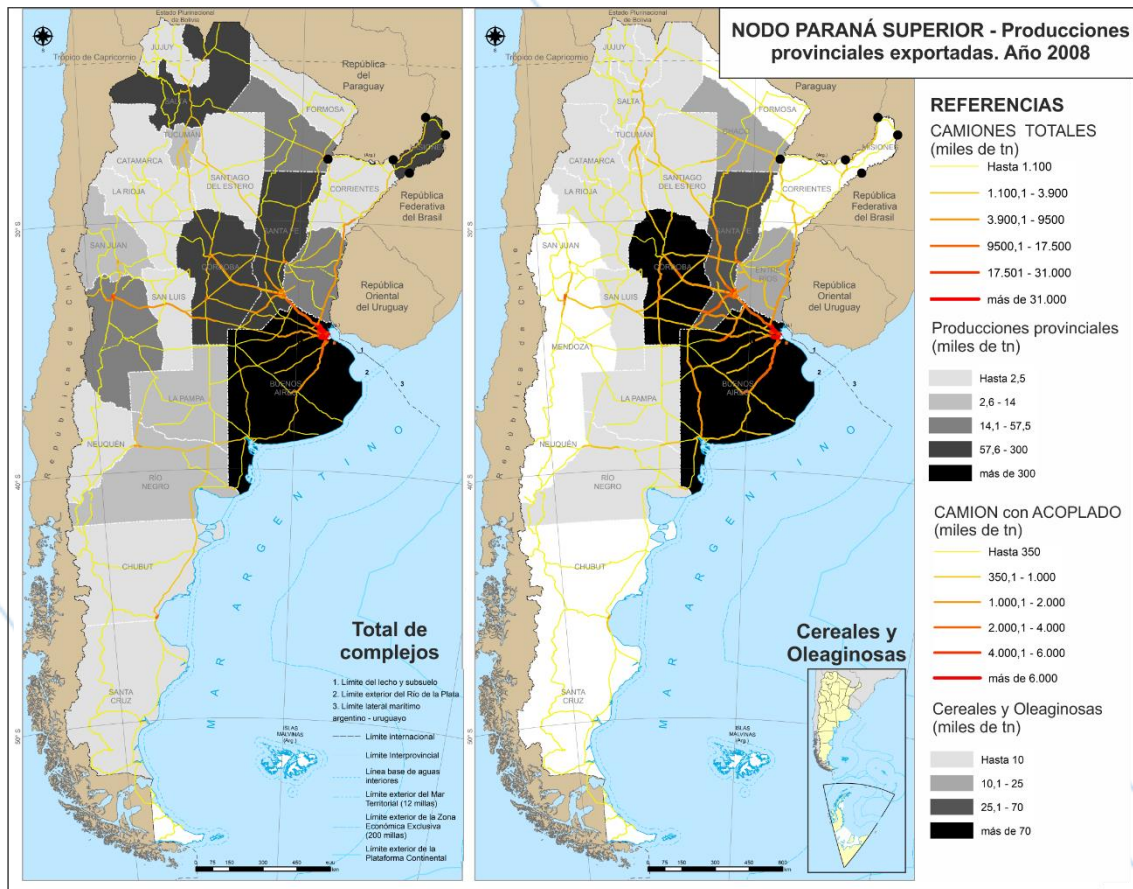
Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Nodo Paraná Superior

Este nodo agrupa gates ubicados en distintas vías fluviales de los cuales sólo uno (Corrientes) corresponde a una terminal portuaria de poco volumen, centrada en contenedores. Los gates misioneros están emplazados en tres casos sobre puentes internacionales (Posadas-Encarnación sobre el Paraná, Tancredo Neves sobre el Iguazú y San Javier sobre el río Uruguay) y el cuarto, Bernardo de Irigoyen, es un paso de frontera terrestre con el Brasil.

Sólo Buenos Aires y Misiones, entre los variados orígenes de cargas, cuentan con volúmenes superiores a las 100 mil toneladas, en el primer caso de los complejos cerealero y hortícola, en el segundo del forestal en su totalidad. Esto hace que no se registren volúmenes de tráfico preocupantes en la red vial misionera, más allá de los vaivenes estacionales propios de estos productos.

Orígenes, complejos y encaminamientos – Nodo Paraná Superior



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Conjunto de nodos exportadores

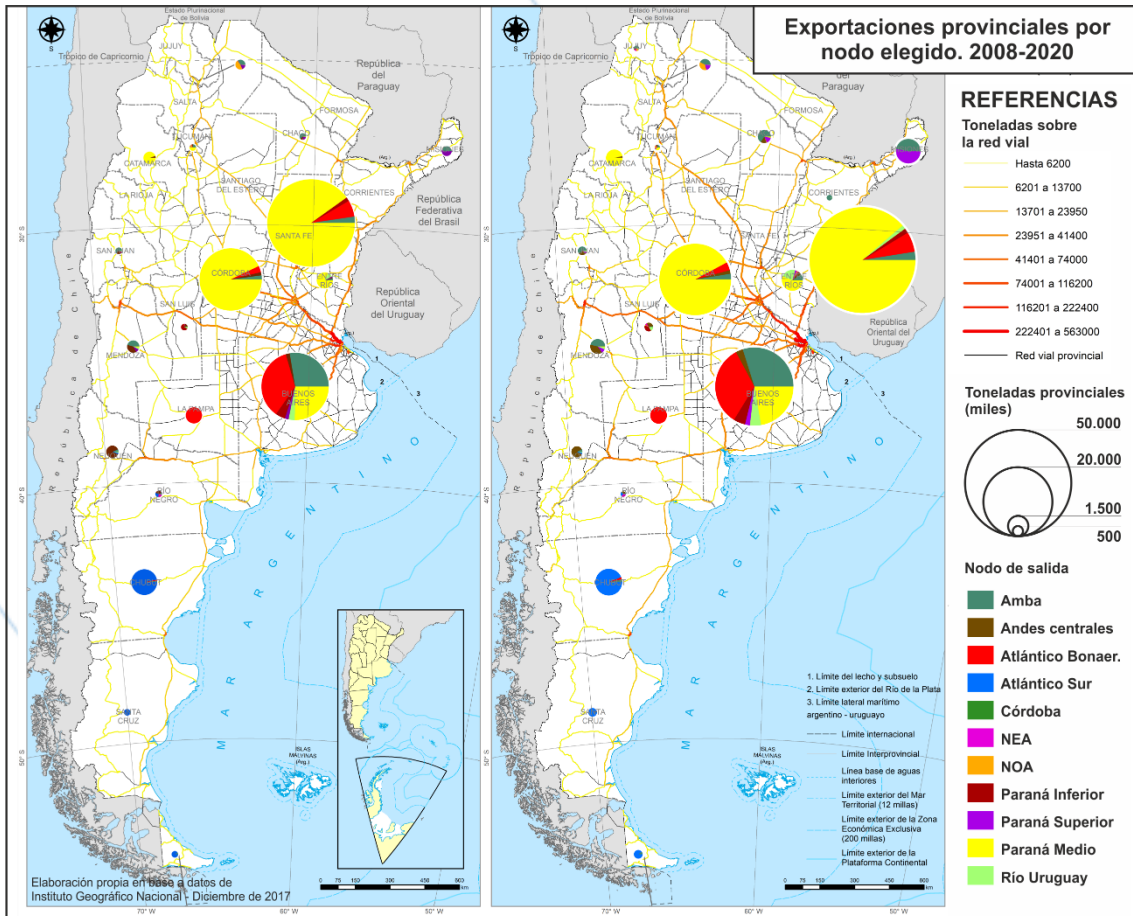
Como puede observarse, la configuración radial del tendido vial y ferroviario que en el siglo XIX era expresión del desarrollo agroexportador del país - complementario del desarrollo industrial europeo, y principalmente británico- continúa influenciando el direccionamiento de los tráficos, cuya importancia disminuye en forma directamente proporcional a medida que se alejan de la región pampeana.

El centro del país, y en particular la franja que va del norte de Buenos Aires a Rosario y el centro de Córdoba, concentra el mayor volumen de cargas sobre sus carreteras y puertos, extendiéndose hacia el oeste hasta llegar al norte de Mendoza (esta zona suele ser mencionada como parte del corredor bioceánico, dado que comunica a través de los Andes con el centro de Chile). Dos corredores adicionales de alto volumen de tráfico son los que conducen del AMBA hacia el noreste de Entre Ríos (continuación del mencionado corredor bioceánico hacia el sur de Brasil), y hacia el centro bonaerense donde se desarrolla el área productiva triguera.

Estos corredores son los que suelen concentrar la inversión pública para su mantenimiento y renovación, dada la importancia de los flujos y el atraso en seguridad vial que se traduce en una alta tasa de mortalidad por accidentes de tráfico en el país. Por ejemplo, la RN 14 que corre paralela al río Uruguay, hecha autopista en 2014, concentraba la mayor cantidad de accidentes fatales debido al continuo tránsito de camiones provenientes de Brasil, que entorpecía el tráfico en la ruta de solo un carril por sentido (este problema también está presente en el sur de Brasil).

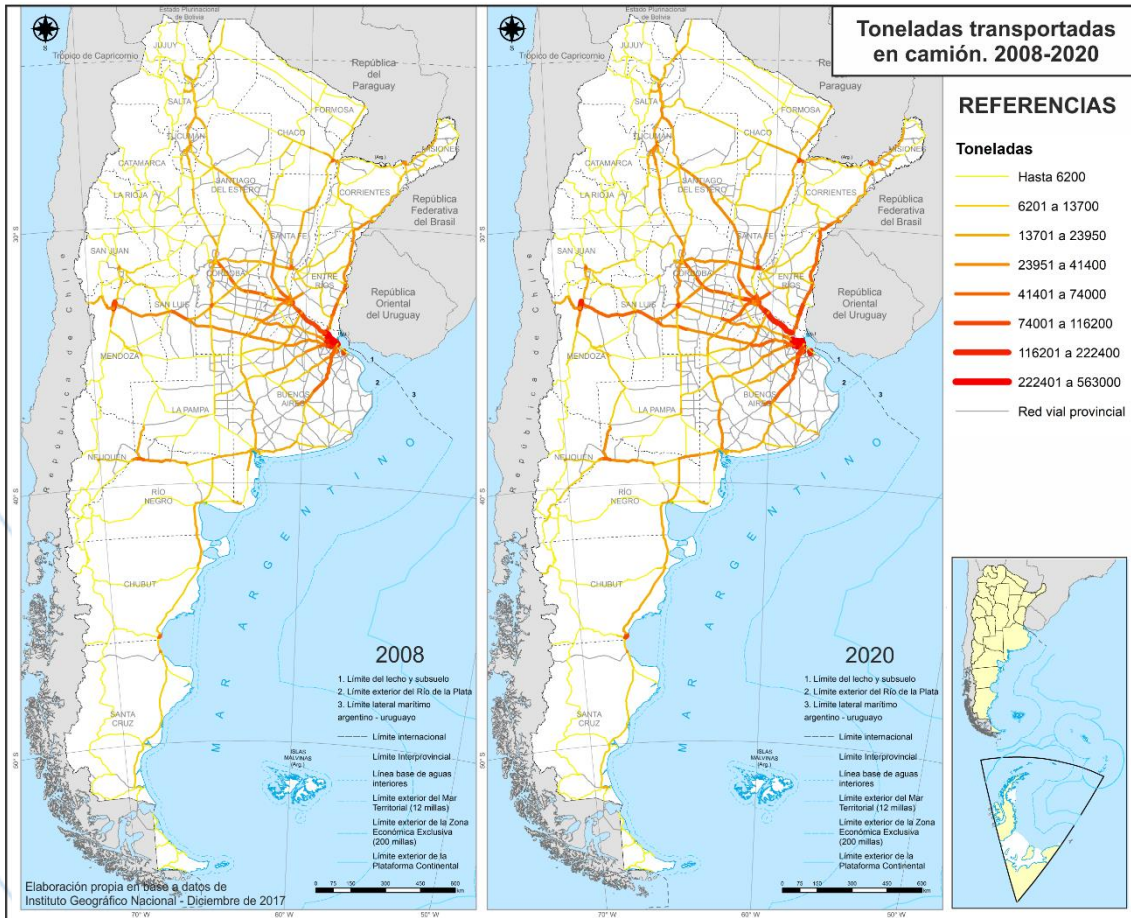
La otra cara del problema es que el énfasis de la obra pública en los corredores destacados es proporcionalmente negativo para el desarrollo de las regiones tradicionalmente postergadas por encontrarse fuera de la región pampeana, como el NOA, dada la relativa poca importancia de sus tráficos en la actualidad, aunque dichos tráficos podrían aumentar en el futuro si contaran con la infraestructura que posibilitara la competitividad necesaria para esta postergada región.

Convergencia de tráficos exportados por nodos: proyección 2020



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

Volúmenes de tráfico de exportación sobre la red vial: proyección 2020



Fuente: Elaboración propia en base a datos del INDEC, DGA y DNV.

3. Delimitación de los hinterlands portuarios

La delimitación de cada hinterland surge de graficar los nodos de origen relacionados con las exportaciones de los dos principales nodos portuarios argentinos, en forma de mapas de calor que referencian los puntos de origen de las exportaciones de los dos principales complejos (oleaginoso y cerealero), responsables del 80% del volumen total de estos tráfico. A esto se agrega la determinación, en base a la cartografía de la red vial ya utilizada, de los tiempos de viaje de dichas cargas, representados por líneas isocronas. Nuestra referencia son estudios similares realizados en puertos brasileños, en particular Campos Neto y Santos (2005), sobre el puerto de Santos, y Pizzolato et al. (2010), sobre el de Rio Grande; también el realizado por Grecco Zanon Moura et al (2017) sobre los puertos españoles de Valencia, Barcelona y Bilbao, que incluye al tiempo como variable.

Estos estudios coinciden en analizar el tráfico de contenedores, predominante en estas terminales portuarias (Santos, por ejemplo, es el principal hub sudamericano), aprovechando que la estandarización del estibaje y procesamiento técnico de datos permite utilizar databases con gran precisión y diversidad de información. Como en Argentina los principales tráficos son graneles, fue necesario estimar y adaptar la información disponible previo a su georreferenciación. En particular, la información sobre nodos de origen y destino estaba organizada por provincias, por lo cual fue necesario desagregarla en localidades con el fin de obtener una mayor precisión en la inferencia de los flujos, que por otra parte pueden atravesar más de una provincia. Ejemplo de ello es la provincia de Santa Fe, cuya producción excede los 40 millones de toneladas. Concentrar tal producción en un punto para generar la interpolación, no sólo no es representativo de la realidad, sino que generaría efectos distorsivos en el resto de las provincias consideradas.

Se identificaron 123 centroides o baricentros tomando como unidad territorial las localidades y arribando así a la formación de territorios sub-provinciales. En el caso del estudio de Santos, el nivel de precisión de las bases de datos del tráfico de contenedores permitió la graficación de las matrices OD como puntos, obteniéndose una resolución gráfica a partir de nubes de puntos. En el presente caso, dado que fueron considerados varios puertos y la cantidad de información es menor se da una mayor dispersión, por lo que la resolución gráfica está representada a través de áreas, resultado de interpolar los valores de producción de los 123 centroides considerados enviada hacia los diferentes complejos portuarios especializados en granos.

La información de la capa de puntos antes mencionada, que proviene de estadísticas compiladas por la Bolsa de Cereales de Buenos Aires, detalla los envíos por tipo de producto desde los 123 puntos considerados. Identificar el nodo correspondiente a Bahía Blanca y Quequén (Atlántico Bonaerense), así como el nodo Rosario, fue el único paso intermedio para generar la interpolación. De estos 123 centroides, 71 enviaron carga a alguno de los 3 nodos portuarios.

Para ello se utilizaron las siguientes herramientas de ArcMap:

IDW - Herramienta de interpolación que genera un archivo raster (de imagen) cuyos pixeles contienen un valor que representa la intensidad de la presencia de la variable en dicho píxel (área).

Raster to Polygon - Convierte el archivo raster en vectorial (polígono).

Intersect - Elimina las áreas no solapadas entre 2 capas de polígonos. Se utilizó para que las áreas delimitadas por el archivo raster original convertido a polígono se circunscriban a la superficie emergida del territorio nacional.

Una vez realizados estos procesos se delimitaron 5 intervalos mediante el método de cortes naturales. Con ellos se representaron las distintas intensidades de las cargas enviadas a los puertos mediante colores graduados, con una escala

cromática que va de tonos más claros (menor volumen de exportaciones despachadas) a más oscuros (aumento gradual del volumen), representando magnitudes y graficando la estadística de un modo que favorece la lectura intuitiva.

Como se explicó, los centroides se determinan en buena parte sobre el estudio de las características productivas desagregadas espacialmente a nivel de localidades, en base a información recogida en el INDEC, la Bolsa de Cereales de Buenos Aires y la Dirección de Mercados Agropecuarios (DiMeAgro) del Ministerio de Agroindustria. Así se obtuvieron datos de producción de los distintos complejos exportadores y cadenas productivas, determinando dónde comienzan y terminan los flujos de cada producto o paso intermedio en su elaboración. Los centroides más importantes están representados por círculos, cuya dimensión representa los volúmenes exportados.

Para el presente trabajo se elaboraron los mapas de hinterland de los dos principales nodos portuarios del país (Paraná Medio y Atlántico Bonaerense), vinculándolos con un conjunto de localidades que aportan cargas de los dos complejos exportadores principales (que explican el 80% del volumen de las exportaciones totales), y determinando así el área de influencia de cada puerto. Los resultados se presentan a continuación.

Los siguientes mapas representan los hinterlands obtenidos para los principales nodos portuarios receptores de graneles agropecuarios: Paraná Medio (puertos del Gran Rosario) y Atlántico Bonaerense (Quequén y Bahía Blanca). Es importante destacar que por estos nodos se despacha el 80 por ciento de los tráficos de exportación argentina.

Los hinterlands posibles del nodo Paraná Medio son representados en diferentes gamas de azul, representando las toneladas con ese destino. El corte más estricto, compatible con el hinterland primario, comprende todas las áreas que aportan tráficos cercanos a los 5 millones de toneladas o superiores, con una distancia máxima de aproximadamente 500 km en dirección noroeste-sudeste. Los principales centroides emisores son Rosario, Venado Tuerto, Santa Fe capital, Rafaela (en la provincia de Santa Fe), Rosario del Tala (Entre Ríos) y Bellville (Córdoba). Existe plena interconexión y una densidad ideal en la producción. Este hinterland primario abarca la mayor parte de la Zona Núcleo, con excepción de la provincia de Buenos Aires.

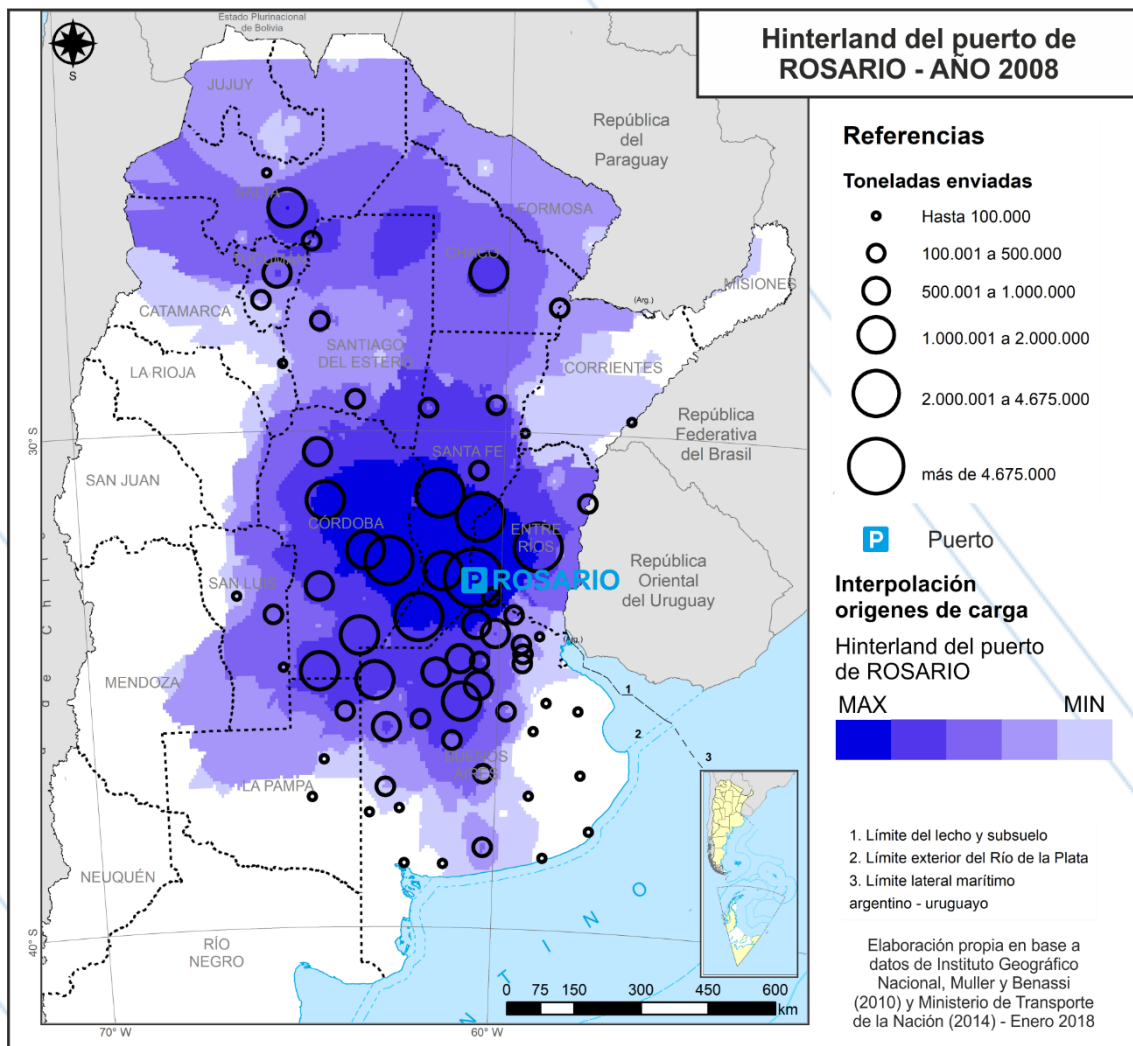
El límite noroccidental del hinterland bajo estos parámetros sería Córdoba capital (527 km y 7,9 horas de distancia de Rosario), y el sudoriental la citada localidad de Rosario del Tala (181 km y 3,1 horas), mas allá del Paraná. La presencia de puertos más cercanos sobre la orilla entrerriana del río sugiere la intervención de atractivos que pesan más que la distancia, como la capacidad y rendimiento del crushing de los puertos del área metropolitana de Rosario. En dirección norte, el límite del hinterland primario se localiza en las proximidades

de Rafaela (411 km de distancia y 6,1 horas), y hacia el sur en Venado Tuerto (176 km y 3,1 horas). De lo cual se refleja que los extremos más cercanos, sur y sureste, presentan una velocidad promedio de 60 km/h, que se incrementa en los extremos más lejanos (norte y noroeste) hasta 67 km/h, dado que a mayor distancia es menor el impacto de la congestión de los accesos a las terminales portuarias en la duración total de los viajes.

El hinterland secundario, que comprende áreas productivas que aportan volúmenes de los 2 millones de toneladas en adelante, presenta una dispersión mayor, con centroides aislados en el norte y noroeste del país: Metán (1.444 km y 23,7 horas de distancia) y Monte Quemado en Salta, Presidencia Sáenz Peña en el centro chaqueño (943 km y 15,4 horas), y un área rural en el nordeste de Santiago del Estero. El área principal extendida abarca el resto de las provincias primarias, las comprendidas en el hinterland primario: Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos. La extensión este-oeste de dicha área aumenta en 600 km, que se convierten en 750 km en dirección norte-sur, ingresando a la provincia de Buenos Aires hasta la localidad de Bolívar (411 km y 7,2 horas); en el norte de Santa Fe, el límite se define en Vera (600 km y 9,6 horas) y es el límite de la pampa húmeda con el monte chaqueño.

Los datos expuestos dan cuenta de una mayor dependencia de los tráficos en esas zonas del norte del país, dada la deficiente infraestructura ferroviaria y el estado deteriorado de muchas rutas de la región. En efecto, el corte más inclusivo – considerando volúmenes a partir de las 100 mil toneladas- abarca la casi totalidad de las provincias del norte, de Catamarca a Corrientes, mientras que en la provincia de Buenos Aires existen vastas zonas de la pampa húmeda que no derivan sus tráficos a las terminales del Gran Rosario, prefiriendo otros puertos más al sur, donde la presencia de plantas de procesamiento es menor y predominan los graneles.

Hinterlands del nodo Paraná Medio



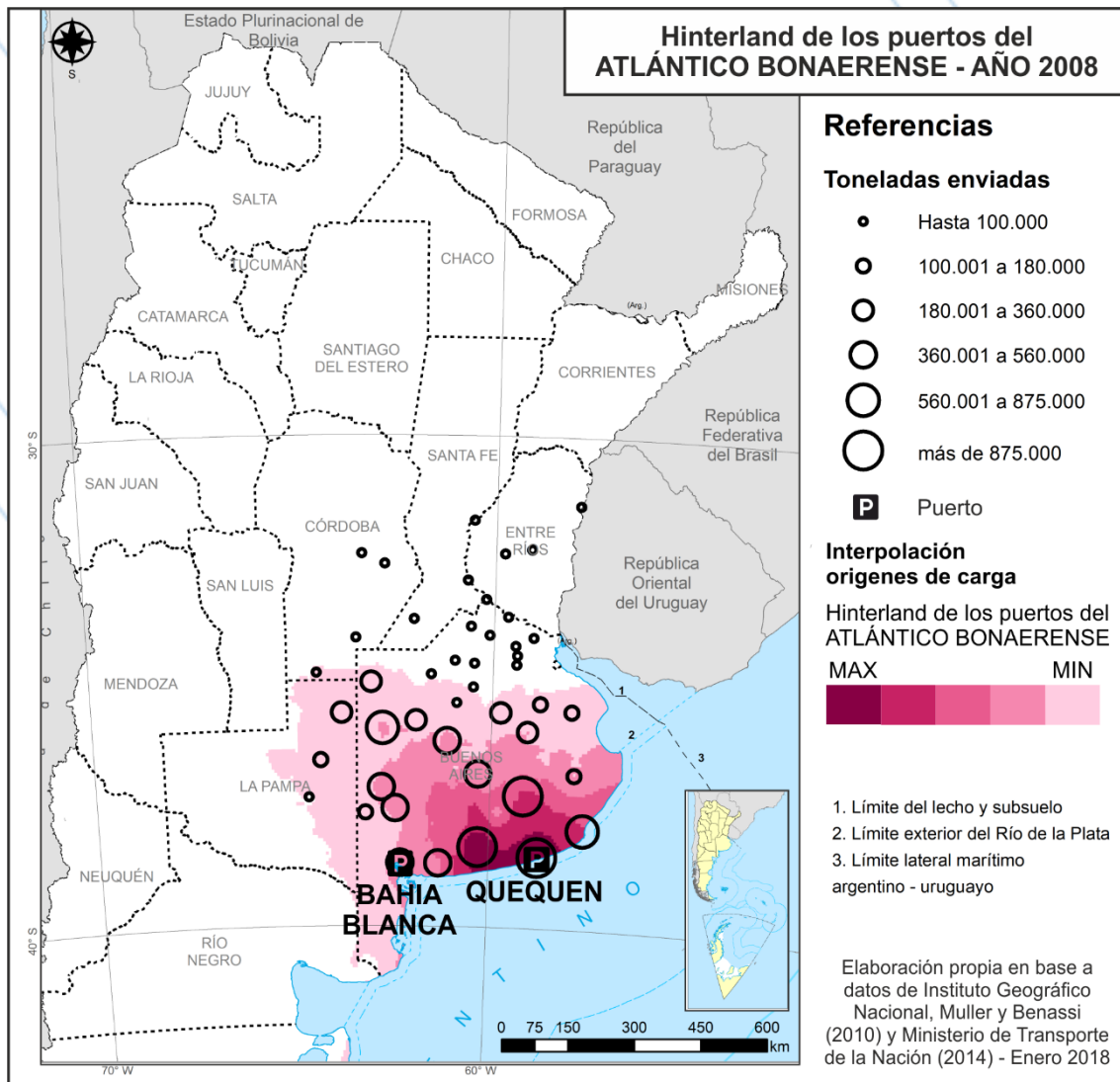
Fuente: Elaboración propia

En lo que hace al hinterland del nodo Atlántico Bonaerense, los cortes son diferentes dada la menor afluencia de cargas respecto del Gran Rosario. Este nodo posee la particularidad de tener dos puertos principales a 200 km uno del otro, por lo que es difícil determinar un centro de irradiación. Las áreas de mayor producción granaria están más cercanas a Quequén que a Bahía Blanca, pero este último puerto es el que opera los mayores volúmenes por rendimiento del equipamiento portuario y mayores niveles de servicios, por lo que fue seleccionado como vértice del nodo. Para una consideración desagregada del hinterland específico de cada uno de estos puertos, puede consultarse el mapa incluido en este apartado titulado: Síntesis de hinterlands.

Podemos definir, entonces, un hinterland primario del nodo incluyendo zonas que aportan a partir de las 560 mil toneladas, y con una extensión este-oeste de unos 400 km entre Mar del Plata (529 km de distancia) y Tres Arroyos (194 km), cuya máxima derivación de tráficos se da a lo largo del litoral marítimo. Los

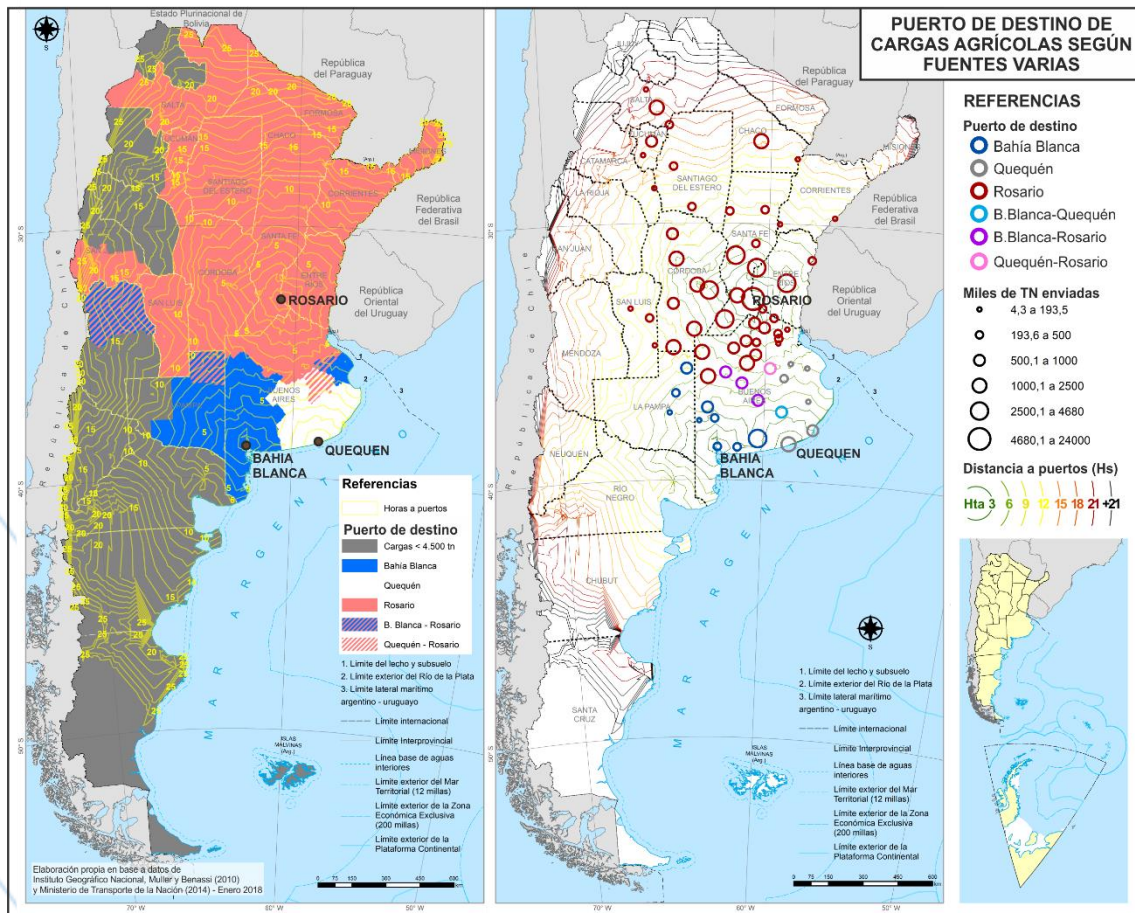
vértices norte y sur de dicho hinterland son Tandil (370 km) y Necochea (306 km). Como puede verificarse, el puerto de Bahía Blanca queda fuera del hinterland granario primario supuesto, lo cual se explica por su ubicación en el límite suroeste de la pampa húmeda, mientras que Quequén está es más cercano al epicentro de la zona sembrada en el sur de la provincia, teniendo una menor diversidad de tráficos, pero también una dimensión menor respecto del mayor baricentro portuario regional; Bahía Blanca.

El hinterland secundario sí comprende el centroe Bahía Blanca, así como otros centros de producción del oeste de la provincia como Trenque Lauquen, Pigüé y Carhué. Por último, el nodo recibe cargas menores a 100 mil tn del centro y oeste de la provincia, así como del este de La Pampa, que representarían el límite de su hinterland extendido. En lo que hace al límite occidental, tiene que ver con la disminución del área sembrada en los límites de la pampa húmeda.



Fuente: Elaboración propia

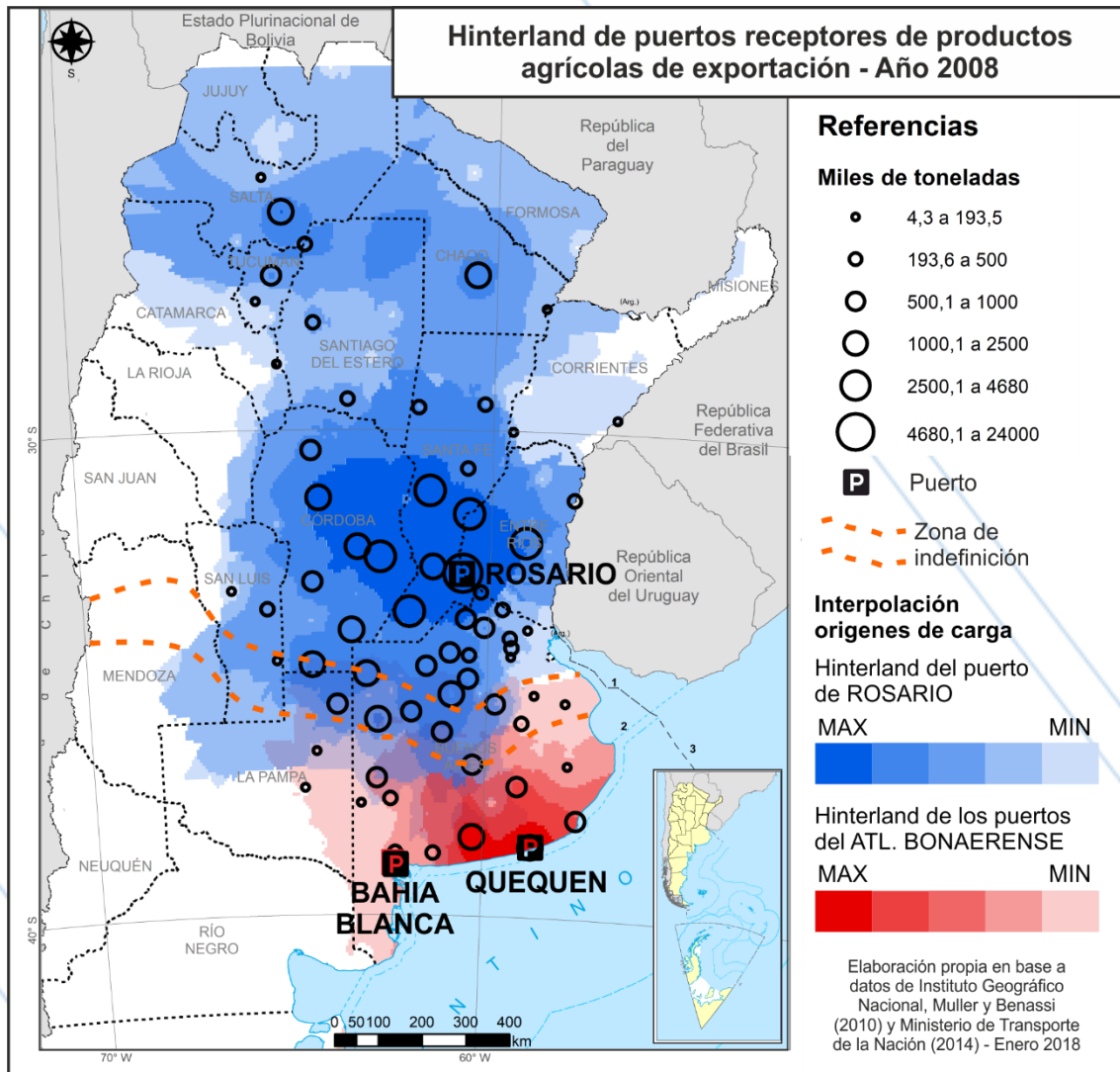
Síntesis de hinterlands



Fuente: Elaboración propia

En el centro-norte de la provincia de Buenos Aires, en cambio, el límite del hinterland tiene que ver con la equidistancia entre los puertos del sur de la provincia y los del Gran Rosario. Esta zona intermedia, más o menos coincidente con la cuenca del Salado inferior, aparece también en los mapas de isocronas, lo que en principio podría atribuirse a una ambivalencia de las cargas generadas allí hacia los dos nodos principales. Para una mayor comprensión del fenómeno, presentamos un mapa que comprende ambos nodos, lo que permite apreciar la superposición de los hinterlands respectivos en dicha franja.

Hinterlands nodos Rosario – Atlántico Bonaerense



Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, los datos sobre el origen de la producción indican que el nodo Atlántico Bonaerense capta mayormente granos, mientras que los aceites y harinas son procesados más al norte, en el Gran Rosario y también en menor medida en los puertos del Paraná Inferior, dada sus posibilidades en cuanto al procesamiento de los productos derivados del complejo oleaginoso.

4. Caracterización de la vulnerabilidad y dificultades de accesibilidad en la red vial

El concepto de vulnerabilidad tiene diferentes acepciones. En el contexto de las redes de transporte, la vulnerabilidad se relaciona con su capacidad para seguir funcionando después de sufrir una alteración, es decir, con la susceptibilidad de una red en la que determinados incidentes puedan causar reducciones en los

niveles de servicio y las condiciones de accesibilidad. Un corte o reducción de la circulación en un tramo o en un nodo de la red producirá incrementos en los tiempos de viaje debido a la necesidad de utilizar rutas alternativas a la óptima. La derivación de los tráficos hacia otros tramos puede, asimismo, producir problemas de congestión y, por lo tanto, repercutir a su vez en los niveles de servicio y en los tiempos de viaje. En algunos casos la afectación puede ser total, con lo cual esta situación puede generar situaciones de aislamiento total en áreas afectadas por cortes de uno o más tramos de red vial.

Pero esos efectos serán diferentes en función del carácter de las redes, según sean más o menos vulnerables. Redes más vulnerables serán menos capaces de mantener los niveles de servicio y accesibilidad próximos a los originales en situaciones críticas. La morfología y densidad de la red son factores importantes para tener en cuenta, ya que una red densa facilitará los desplazamientos y proporcionará rutas alternativas, mientras que una red poco densa agrava los problemas en caso de alteraciones, no sólo por la incomunicación que genera, sino también por los graves problemas que surgen en el momento de evacuar y asistir por parte de los servicios de emergencia.

Los elementos críticos de una red son los que más afectan a su vulnerabilidad: cuanto más crítico es un componente, mayores son las consecuencias de las pérdidas del conjunto de la red. El nivel de criticidad de un elemento depende del papel que juegue en la estructura de la red y de los flujos que circulen por ella. Así, por ejemplo, las redes muy centralizadas, del tipo de hub and spoke, son extremadamente vulnerables, ya que cuentan con elementos críticos: el no funcionamiento del hub puede suponer la pérdida de operatividad de toda la red. En cambio, las redes descentralizadas, malladas, con gran densidad de arcos, permiten una gran cantidad de rutas alternativas ante una incidencia en cualquiera de sus nodos o arcos. Conocer los puntos débiles de una red y las rutas alternativas es importante a la hora de mitigar la vulnerabilidad de la red y dar prioridad tras una catástrofe o deterioro de la infraestructura a la reconstrucción de unos tramos priorizando otros.

El principal objetivo del estudio consiste en determinar los efectos derivados de eventos naturales que supongan el cierre de ciertos tramos en las redes viales. Debido al efecto red¹, estos impactos se extienden en un territorio mucho mayor que el ocupado por el arco directamente afectado por el evento. Los efectos se

¹ Las economías de red están presentes en el transporte, tanto en las infraestructuras (redes ferroviarias o de carreteras) como en los servicios, diseñados como conjuntos de líneas regulares de transporte (rutas aéreas o líneas de buses), puntos de conexión y frecuencia de los vehículos. En infraestructuras, añadir una conexión adicional a una red (por ejemplo, una nueva carretera) hace que el valor del resto de los activos sea mayor, ya que habrá usuarios que pueden utilizar esa nueva conexión como parte de desplazamientos más largos u otros que puedan elegir entre más alternativas de viaje. Estos efectos de red deben tenerse en cuenta tanto al evaluar los beneficios que supone la entrada en servicio de una nueva infraestructura como para el diseño de su capacidad, porque el número de usuarios que finalmente la utilice puede ser mucho mayor al inicialmente considerado, en parte por este efecto de entrada de tráficos de conexión (de Rus,2003).

miden en términos de aumento de los niveles de vulnerabilidad, es decir pérdidas de accesibilidad. Se analiza tanto la intensidad de los efectos como su grado de polarización en el territorio.

En los estudios de transporte, el concepto de vulnerabilidad se utiliza para reconocer que la susceptibilidad no es uniforme en las personas, los vehículos, el flujo de tránsito, la infraestructura ni el medioambiente. La vulnerabilidad puede hacer referencia a la vulnerabilidad física de los usuarios de transporte o a la posibilidad de que un accidente reduzca la vialidad del sistema de transporte. La vulnerabilidad en el transporte también puede abordarse desde el punto de vista de la fiabilidad de la red, ya que una red fiable es menos vulnerable y, por lo tanto, más resiliente cuando ocurre un desastre.

El impacto de la interrupción de un elemento determinado se denomina “importancia del elemento”. Muchos otros términos han sido utilizados en varios campos para hacer referencia al mismo concepto, incluidos “criticidad” y “vulnerabilidad”. El principal objetivo detrás de la medida de importancia es comparar y clasificar los diferentes elementos. Esto permite, por ejemplo, la identificación de aquellas partes del sistema de transporte donde las interrupciones serían especialmente graves. La identificación de los elementos importantes significa que pueden tomarse medidas focalizadas para reducir el riesgo de interrupciones en esas ubicaciones.

La definición de vulnerabilidad aún no ha sido aceptada universalmente. La mayoría de los conceptos de vulnerabilidad se basan en la reducción de la capacidad de la red vial. Algunas definiciones relacionadas con la vulnerabilidad incluyen lo siguiente:

- El análisis de vulnerabilidad de la red vial puede definirse como el estudio del deterioro potencial del sistema de transporte por carretera y sus efectos en la sociedad a través de la modelización de la infraestructura vial como una red con tramos (secciones de carretera) y nodos (intersecciones).
- Una susceptibilidad a los incidentes que puede tener por consecuencia una reducción considerable de la vialidad de una red. La vialidad del tramo, la ruta o la carretera describe la posibilidad de utilizarlos durante un período dado. Además, debido a que la accesibilidad depende de la calidad del funcionamiento del sistema de transporte, el concepto está relacionado con diferentes niveles de vulnerabilidad en lo que respecta a la reducción de la accesibilidad por varios motivos.
- La vulnerabilidad es una combinación del potencial para sufrir daños, los costos asociados y la exposición de personas, bienes, infraestructura y vehículos. La definición de vulnerabilidad se relaciona con las consecuencias de los fenómenos naturales y puede dividirse en

vulnerabilidad directa e indirecta. La vulnerabilidad directa corresponde al daño físico directamente relacionado con las consecuencias de los fenómenos, como las lesiones de las personas o los daños a la infraestructura causados por fracturas de carretera, flujos de detritos, avalanchas, deposiciones, desprendimiento de rocas, etcétera. La vulnerabilidad indirecta corresponde a las consecuencias lejanas de un suceso, como una inundación, una avalancha o un flujo de detritos.

En general, definir la vulnerabilidad permite identificar las debilidades estructurales en la topología de la red que la hacen vulnerable a las consecuencias de las fallas o el deterioro. Luego, pueden destinarse recursos a evaluar esos tramos débiles.

4.1. Datos y método para el análisis de vulnerabilidad en la red vial

La red vial digitalizada utilizada en este trabajo consta de un total de 1372 arcos. En cada uno de ellos se almacena información del distrito donde se localiza el arco, ruta en la que se encuentra el arco, datos del arco (intersecciones), ubicación geográfica (coordenadas de inicio y fin), longitud del arco, TMDA por volumen y composición del arco y tiempos de circulación de flujos vehiculares. Se consideran 528 departamentos, 24 provincias y 6 regiones definidas por la cobertura de red vial y los niveles de afectación, considerando centros urbanos de diferentes jerarquías y nodos principales definidos por la topología de la red vial. La red posee una estructura reticular, con una configuración convergente, de modo tal que la mayor parte de las rutas y particularmente corredores viales de mayor capacidad, convergen sobre los principales núcleos urbanos. La dinámica de los tráficos orienta grandes volúmenes hacia los principales núcleos urbanos, fundamentalmente con convergencia en dos áreas metropolitanas; Buenos Aires, Rosario y al nodo portuario Bahía Blanca- Quequén.

Para estudiar la vulnerabilidad de la red vial con el cierre de distintos tramos se realiza un análisis de accesibilidad comparando la situación de referencia con cada uno de los escenarios analizados. El escenario de referencia representa una situación de funcionamiento normal de la red; por su parte, los escenarios representan situaciones reales de interrupción del tráfico en uno o varios arcos. Por lo tanto, la comparación de cada uno de los escenarios de evaluación (simulados) con el escenario de referencia aporta información referida a la pérdida de accesibilidad experimentada en el conjunto de la red a causa del cierre de ese tramo.

Los arcos interrumpidos en este trabajo representan situaciones reales del cierre de 61 tramos de la red vial. Las evaluaciones de las situaciones de interrupción corresponden al corte de varios tramos de la red debido a inundaciones,

registrados mediante el relevamiento de cortes de ruta durante las inundaciones 2015-2016 producidas por el fenómeno del Niño.

Esta metodología basada en la construcción de escenarios es similar a la utilizada en los estudios que evalúan el impacto de la construcción de nuevas infraestructuras, sólo que, en vez de añadir arcos para simular el efecto futuro de la nueva infraestructura, se procede de forma opuesta, eliminando arcos, para simular el efecto del cierre de determinados tramos (en este caso por causas naturales).

4.2. Efectos de las inundaciones en las carreteras

Los impactos pueden dividirse en directos e indirectos. Los impactos directos incluyen los costos de reconstrucción de las carreteras dañadas y de las zonas de derrumbe o el ajuste de las orillas desgastadas por la erosión. Los indirectos implican los costos de interrupción y de las alteraciones logísticas. Por ejemplo, cuando parte de una carretera está cerrada, las desviaciones son siempre menos convenientes porque son más extensas o demandan más tiempo. Estos costos adicionales son parte de los costos indirectos. Otros costos indirectos pueden expresarse como oportunidades perdidas, por ejemplo, si no pueden realizarse viajes planeados o si deben elegirse medios de transporte alternativos.

Otro aspecto relevante en el análisis de la vulnerabilidad de la red vial es el cambio climático. Para tomar en cuenta el cambio climático, es necesario contar con buenos mapas de inundaciones y una buena planificación de la gestión del agua. Además, la consideración del cambio climático puede tener un impacto en los procedimientos de diseño estándar, ya que los métodos para calcular y estimar la capacidad de las obras de drenaje pueden ser insuficientes. La adaptación al clima es un concepto relevante: implica identificar los riesgos para el desarrollo de un proyecto como consecuencia de la variabilidad y el cambio climático, y asegurar que esos riesgos se reduzcan a niveles aceptables por medio de cambios ecológicamente razonables, económicamente viables, y socialmente aceptables.

4.3. Vulnerabilidad en la red vial y criticidad de sus tramos

A partir de la determinación de los niveles de presión en la malla vial y con la finalidad de agregar valor a los datos analizados, se aplicó un instrumento de análisis para determinar la vulnerabilidad en la red vial. El modelo desarrollado se acopla automáticamente en los productos ArcGIS. El insumo para desarrollar el referido análisis es el procesamiento de las bases de datos que originan los indicadores de niveles de presión sobre la red vial (mapas de presión representados en la red vial), la propuesta consiste en aplicar el instrumento para obtener resultados vinculados al análisis de la red. La secuencia consiste en cortar

tramos y aplicar por diferentes criterios la anulación de tramos de la red vial para determinar: criticidad en los niveles de accesibilidad por arcos de red, encaminamientos alternativos, selección de encaminamientos con mayores distancias y modificación de los encaminamientos por efectos en el tiempo y distancia (impedancias).

Las diferencias observadas (pérdidas de accesibilidad) entre cada uno de los escenarios de evaluación y el escenario de referencia (que contempla el normal funcionamiento en todos los tramos de la red) permiten analizar la vulnerabilidad de la red y determinar la criticidad de cada uno de los tramos analizados. La media ponderada de las pérdidas de accesibilidad permite conocer la intensidad y consecuencias del cierre de los diferentes tramos; por su parte, el coeficiente de variación ponderado muestra hasta qué punto dichos efectos se concentran en una parte del territorio o, por el contrario, presentan una mayor dispersión.

En primer término, se investigó la adaptabilidad de la función tal como fue programada en el módulo de análisis, para un sistema ArcGIS 10.4.1, que resultó positiva. La estructuración de las bases de datos existentes y la información obtenida ex profeso para esta investigación, compatibilizada con el instrumento y la carga de la totalidad de los arcos de red con datos funcionales y físicos, lo cual constituyó un agregado de valor al análisis. En una segunda instancia se utilizó un módulo de análisis desarrollado por el programa de investigación t-GIS del Departamento de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid, el objetivo fue utilizar las funciones del módulo con las bases de datos disponibles en Argentina con un volumen de información y periodicidad suficiente, logrando la customización necesaria para el tipo de consultas (queries) necesarias en la presente investigación.

Fue modificada la parametrización de la Network Dataset aplicada originalmente en estudios de casos de movilidad urbana (R. Núñez y G. Puebla, 2012). Se construyó la base "streets", con la cual luego fue generada la Network Dataset para su modificación. Una vez realizada la reparametrización, se ingresaron las afectaciones a la red reportadas por la Subsecretaría de Gestión de Riesgos del Ministerio del Interior y Obras Públicas, referidas a fenómenos naturales -en este caso inundaciones-, para determinar la criticidad de los tramos y la vulnerabilidad total de la red relacionada con los fenómenos climáticos como consecuencia del fenómeno del Niño.

Fueron considerados los siguientes cortes de rutas registrados durante las inundaciones 2015-2016, en base a la fuente mencionada, se enumeran en la siguiente tabla:

Cortes de ruta por inundaciones, período 2015-2016

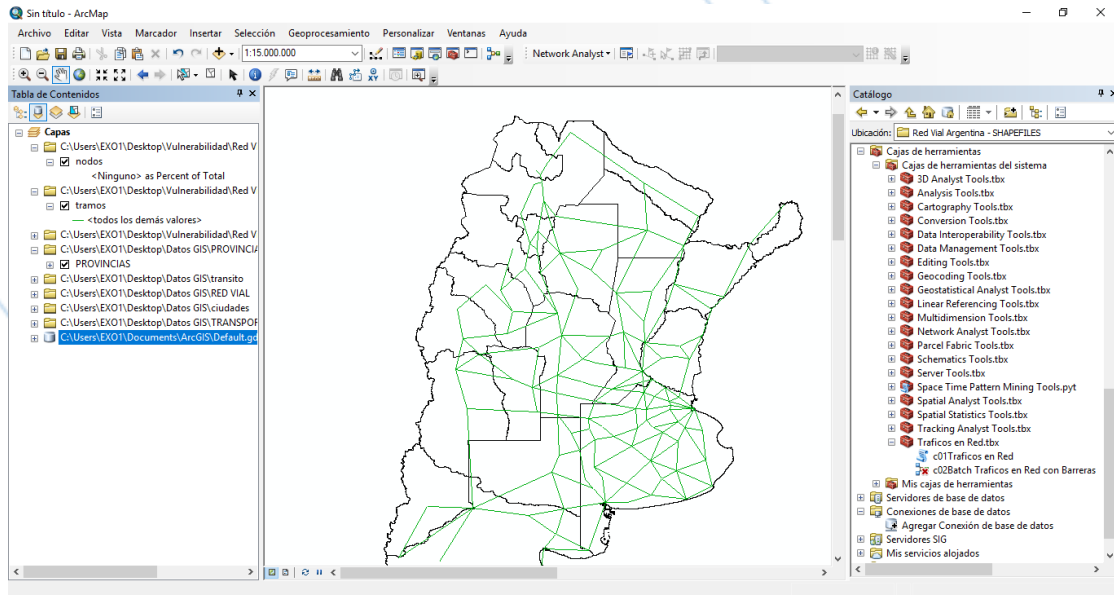
Fecha	Ruta		Intersección	Provincia
	Provincial	Nacional		
abr-15	5		e/RP123 y RN118	Corrientes
abr-15		117	e/RP155 y la costa Este	Corrientes
abr-15		14	e/RP25 y RP126	Corrientes
abr-15	24		e/RN12 y RP23	Corrientes
abr-15	30		e/RN12 y RP23	Corrientes
abr-15	100		e/RP27 y RN12	Corrientes
abr-15	11		e/RP10 y RN13	Corrientes
abr-15		12	a 1,5km al norte de RP30	Corrientes
abr-15	155		e/RP156 y RP50	Corrientes
abr-15		14	e/RP156 y RP50	Corrientes
abr-15	38		e/RN11 y RP1	Santa Fe
abr-15	30		e/RP3 y RN11	Santa Fe
oct-16		174	e/RN11 y RP11	Entre Ríos
oct-16	A901		e/RN19 y RN11	Santa Fe
oct-16	70		e/RP6 y RN11	Santa Fe
oct-16	6		e/RP70 y RP4	Santa Fe
oct-16	62		e/RP4 y RN11	Santa Fe
oct-16		18	e/RP6 y RP20	Santa Fe
oct-16	39		e/RN11 y RP1	Santa Fe
oct-16	60		e/RP39 y RP1	Santa Fe
oct-16	1		e/RN11 y RP38	Santa Fe
oct-16		12	e/RP1 y RP60	Entre Ríos/Corrientes
oct-16	22		e/RP5 y RP20	Entre Ríos
nov-16				
abr-16	19		La Francia, El Tío	Córdoba
abr-16	12		Corral de Bustos, Cavanagh	Córdoba
abr-16	11		Pascanas, Laborde	Córdoba
abr-16		7	Km 10,5 e/ Aaron y Castellanos	Santa Fe
abr-16		7	e/Km 380 y 390,5 Diego de Alvear	Santa Fe
abr-16		12	altura Santa Elena	Santa Fe
abr-16		14	puente cortado ubicado Km 424	Corrientes
abr-16		12	interrumpida entre Posadas e Iguazu	Misiones
abr-16		11	Clorinda	Formosa
abr-16			a la altura de A012, y en la zona de Bigand, el tránsito se encuentra cortado por abundante agua sobre la traza	Santa Fe
abr-16		14		
jun-16	31		Alt. Carabelas	Buenos Aires
jun-16	50		Alt. Ferre	Buenos Aires
jun-16	191		Arrecifes y ruta 9 Alt. Doyle	Buenos Aires
jun-16	1001		Vuelta de obligado	Buenos Aires
jun-16	31		e/ Rojas y Salto	Buenos Aires
jun-16	51		Ramallo (abajo alto nivel)	Buenos Aires
jun-16	191		Salto limite Chacabuco	Buenos Aires
jun-16	50		Colon (altura puente)	Buenos Aires
abr-16	32	188,8,178	Pergamino	Buenos Aires
jun016	191		Arrecifes	Buenos Aires
abr-16		9	Km 231 San Nicolas	Buenos Aires
abr-16		9	Km 208 Ramallo	Buenos Aires
abr-16	46		Villa Paranacito	Entre Ríos
abr-16	6	12	Santa Elena	Entre Ríos
abr-16	28,1,2		San jose Feliciano	Entre Ríos
abr-16		12	La Paz	Entre Ríos
abr-16	22,5	127	Federal	Entre Ríos
dic-15	22		Federal, a la altura de Paso Duarte, camino a Concordia.	Entre Ríos
dic-15	5		Federal a la altura de Paso Gallo y Ruta 5, camino a La Paz, Paso Birrinchín	Entre Ríos
dic-15	20		Villaguay camino a Federal, sobre arroyo Curupí	Entre Ríos
dic-15	28		Feliciano a la altura de Paso Bravo.	Entre Ríos
dic-15	50		La Paz, altura de Picada Berón y desborde del arroyo Feliciano, en Paso Quebracho,	Entre Ríos
dic-15	5		Federación: a la altura de San Ramón	Entre Ríos
abr-16		16,11	Resistencia	Chaco
abr-16		16	Barranqueras	Chaco
abr-16		16	Resistencia	Chaco

Fuente: Subsecretaría de Gestión de Riesgos, Ministerio del Interior y Obras Públicas

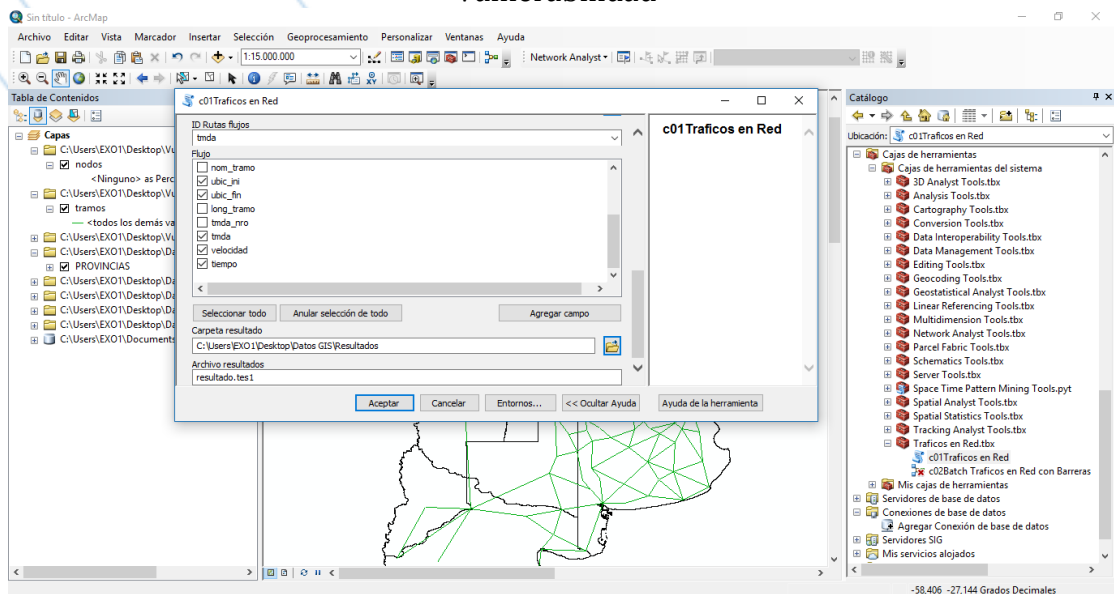
La herramienta realiza una evaluación de vulnerabilidad, en la que se determinan diferentes escenarios y eventos estáticos, donde la probabilidad de cada

escenario se estima individualmente y se calculan las consecuencias en forma estandarizada para todos los eventos a considerar. Los datos clave requeridos son: nodos, tramos, atributos de la red vial, cantidad de toneladas transportadas, vehículos expresados en tránsito diario medio anual TMDA, longitud de los arcos (así como distancia entre los nodos), velocidad de los flujos y tiempos de tránsito.

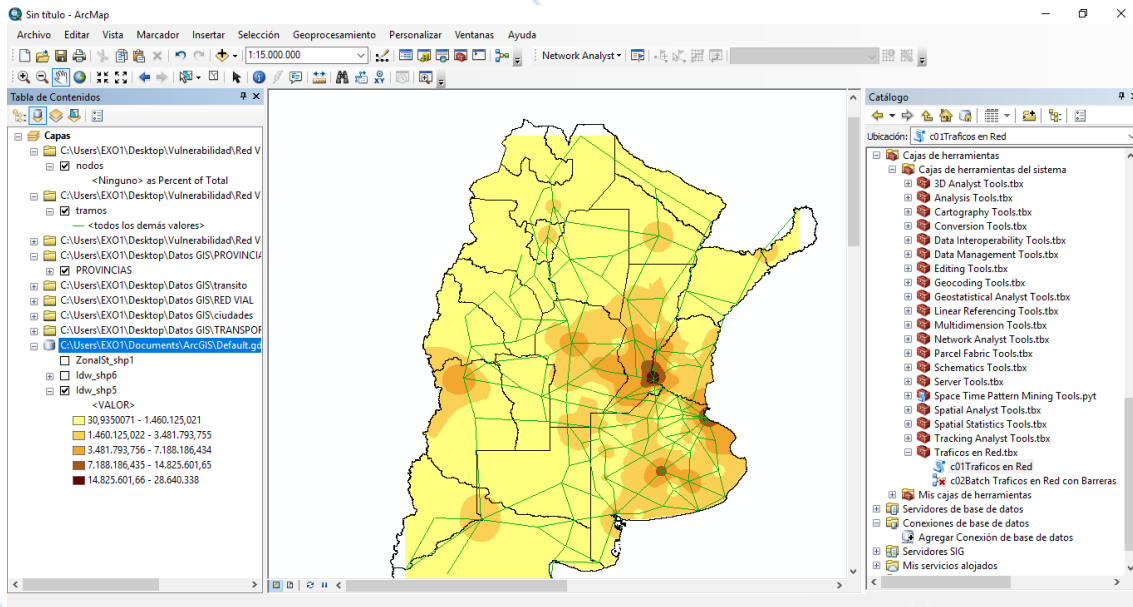
Pantalla del shape vial del módulo de análisis de vulnerabilidad



Pantalla de carga para uno de los shaps del módulo de análisis de vulnerabilidad

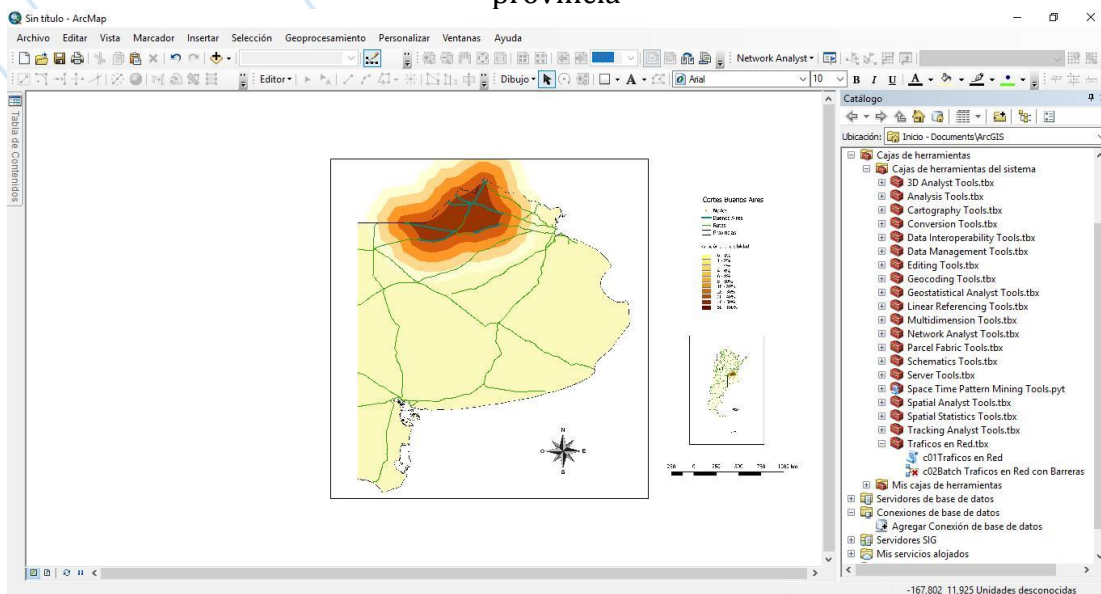


Pantalla de distribución TMDA y volúmenes de cargas en toneladas de los shaps del módulo de análisis de criticidad y vulnerabilidad



Para favorecer la representación gráfica, si bien los datos cargados han sido desagregados a nivel de localidades, se decidió realizar mapas por provincia para la representación de la vulnerabilidad en la malla vial. Cuando un área crítica sobrepasa el límite provincial, se privilegió mostrar el área completa, permitiendo intuir la continuidad del buffer de criticidad. La salida cartográfica resultante a partir de su georreferenciación en el módulo de análisis de criticidad compatible con ArcGIS 10.4.1 es la siguiente:

Pantalla de salida gráfica de criticidad y vulnerabilidad de la red vial, por provincia



A partir de la aplicación del módulo de criticidad tomando los diferentes shapes y las bases de datos como fuentes, la resultante obtenida es un mapeo de la situación de riesgo en los puntos con mayor criticidad del sistema carretero,

correlacionados con los indicadores dinámicos. El archivo raster presenta buffers con áreas oscuras y variación de intensidad, que representan las zonas de mayor vulnerabilidad indicando los puntos críticos. Las bases de datos generadas permitieron generar un shape con una tabla de atributos, que posibilitaron la ponderación de los diferentes niveles de criticidad y afectación de la red vial en función de la información suministrada.

Los resultados permiten determinar la variación y afectación de la red vial en función de los diferentes niveles de criticidad y dificultades en la accesibilidad sobre las áreas cubiertas por los arcos de red vial analizados, como consecuencia de la interrupción del tráfico vehicular. Se compara cada uno de los escenarios en situación de normalidad de la red con el objeto de cuantificar la intensidad de la afectación y su grado de polarización espacial. A través de la aplicación del instrumento descrito, es posible cuantificar y evaluar las consecuencias de la interrupción del flujo vehicular, los re-encaminamientos derivados y las pérdidas producidas por los mayores costos operativos. Las funciones de la herramienta de análisis permiten identificar y cuantificar los impactos causados ante escenarios de interrupción de arcos en la malla vial, desagregados territorialmente por provincia y con la identificación del arco interrumpido.

La falla de una red vial es de interés para los usuarios de carreteras y operadores de transporte (pasajeros y cargas), así como para las infraestructuras de apoyo al transporte (carreteras, equipos de seguridad, puentes, etc.); la infraestructura vial también depende de otros componentes estructurales (como puentes o túneles); redes de servicios (energía, telecomunicaciones, etc.) e influye en las funciones del transporte (conectividad, accesibilidad y cohesión del territorio). Las inundaciones provocan la interrupción de la circulación, que desaparece tan pronto como las aguas bajan y regresan a su cauce. En algunos casos, después de una inundación, se depositan sedimentos, como lodo u otro material granulado de diferentes tamaños. En zonas montañosas o donde existen inclinaciones pronunciadas de las pendientes, el agua posee suficiente energía para producir la destrucción parcial o total de las infraestructuras del transporte.

4.4. Metodología del cálculo de la accesibilidad potencial

El fundamento básico para determinar la accesibilidad de una red es la elaboración de un grafo; a partir del cual se produce la construcción de una matriz de conectividad, consistente en una tabla simétrica, donde se indica 1 las relaciones directas entre nodos y 0 la ausencia de una conexión directa. A partir de esta representación se obtiene la matriz de accesibilidad topológica, en la cual se señalan la cantidad de arcos mínimos que es necesario recorrer para establecer la conexión desde un nodo a cada uno de los restantes (Seguí Pons y Petrus Bey, 1991).

El Número Asociado de Köning resulta ser el valor mayor de cada fila en la matriz de accesibilidad; dicho número da una idea de la accesibilidad que posee el nodo de referencia con relación al nodo más lejano topológicamente. Cuanto menor sea el valor del número asociado, mayor será la accesibilidad del nodo (Garrido Palacios, 1995).

Además se puede definir el Índice de Shimbél, que se obtiene sumando los valores de cada fila de la matriz de accesibilidad topológica, que muestra la cantidad de arcos a atravesar para establecer la conexión desde un nodo a todos los demás del grafo (Garrido Palacios, 1995), basado en los estudios de, Hansen, 1959; Linneker y Spence, 1992; Dundon-Smith y Gibb, 1994; Bruinsma y Rietveld, 1998; Gutiérrez, 2001; López et al., 2008; Gutiérrez et al., 2010 y de Rodríguez Núñez, E. y Gutiérrez Puebla, J. (2012). Estos últimos utilizan para su análisis el modelo económico potencial, expresándose de la siguiente manera:

$$A_i = \sum_j d_{ij}^{-\alpha} M_j$$

$$A_i = \sum_j \frac{M_j}{d_{ij}^{\alpha}}$$

Donde A_i : es la accesibilidad del origen i

M_j : es una medida de la actividad económica del destino j

d_{ij} : es una medida del costo de transporte (distancia) por el camino mínimo entre el origen i y el destino j ; ya es un parámetro que refleja el gradiente del efecto de fricción consecuente de la distancia.

Para el caso del presente estudio fue necesario adaptar el modelo económico, que fue diseñado para la movilidad urbana, al transporte de cargas, tomando como base de datos el volumen de tránsito expresado en el TMDA de cargas para toda la red vial nacional y tramos significativos de la red vial provincial, con sus pares de origen y destino, y las cantidades en toneladas transportadas por el transporte automotor de cargas. Para ello fue realizada una transición entre el volumen y densidad de cargas en la red vial existente, y las toneladas transportadas. El volumen de tránsito se define como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados de un carril o de una calzada durante un periodo determinado, expresándose de la siguiente forma:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo

N = número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = período determinado (unidades de tiempo)

Basándonos en la fórmula anterior podemos determinar el tránsito medio diario anual, definiéndolo como el número total de vehículos que pasan durante un periodo dado igual o menor a un año y mayor que un día, dividido por el número de días del periodo, que generalmente se expresa de la siguiente forma:

$$T(1d < 1m < 1a)$$

$$TMDA = N$$

TMDA= volumen total de vehículos

N= número total de vehículos que pasan

T= período determinado (unidades de tiempo)

El TMDA de cargas totales es la sumatoria del volumen total de vehículos de carga, tanto livianos como pesados, dividido el total de tiempo de un período.

$$TMDA_{CL} = \frac{N_{CL}}{T}$$

$$TMDA_{Cp} = \frac{N_{CP}}{T}$$

$$TMDA_{Ct} = \sum \frac{N_{CT}}{T}$$

También fue necesario incluir la variable de velocidad, que es la distancia o longitud en km dividido el tiempo recorrido. Resultando de dividir la distancia recorrida desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total empleado en el recorrido. En el tiempo total del recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones y/o paradas provocadas. No incluye las demoras fuera de la vía como pueden ser las ocurridas en estaciones de servicio, paradores, etc. Para los vehículos de cargas, la velocidad media de recorrido es la suma de las distancias recorridas dividida por la suma de los tiempos totales de viaje. La velocidad permite comparar las condiciones de fluidez del sistema vial de cargas y tránsito general, ya sea entre arcos diferentes o en el mismo arco cuando sucedieron cambios o para medir sus efectos.

Velocidad

$$v = \frac{d}{t}$$

v= velocidad constante (km/h)
d= distancia recorrida (km)
t= tiempo de recorrido (H)

Para el tiempo, fue utilizada la longitud de los tramos dados por los nodos de origen y destino; dado que el tiempo es la longitud multiplicada por 60, dividida por la velocidad constante por 1000.

Tiempo (t)

$$t = \frac{l * 60}{v * 1000}$$

l= longitud de la ruta
v= velocidad constante

Distancia real y relativa: para realizar el cálculo de la distancia real vial se utilizó, mediante el desarrollo realizado en ArcGIS 10.4.1, la capa de la red vial argentina, donde se calibro la escala necesaria con la finalidad de obtener con la herramienta de medición de distancia, los datos correspondientes a la longitud desde dos puntos de medición que permiten calcular la circulación, el flujo vehicular y los niveles de accesibilidad. Para realizar el cálculo de distancia relativa, se continuó el mismo proceso anterior, pero en este caso no se midió el recorrido por los arcos que generan el circuito de las rutas antes expuestas, midiéndose la distancia directa desde el punto de origen hasta el de destino.

Tiempo real (tr)

$$tr = d + t$$

d=distancia
t= tiempo

El tiempo real distancia más velocidad antes obtenida.

Tiempo Ideal (ti)

$$ti = d + v$$

d= distancia

v= velocidad

Habiendo obtenido los tiempos ideal y real, fue calculado el índice general de accesibilidad potencial territorial del total de la red vial analizada, en relación al TMDA y la cantidad de cargas transportadas en toneladas, siendo la sumatoria total de tr dividida la sumatoria del ti:

Accesibilidad potencial territorial (acc)

$$apt = \frac{\sum tr}{\sum ti}$$

Mediante los datos obtenidos, fue sintetizada la siguiente expresión matemática que permitió adaptar el modelo de movilidad urbana a una red de cargas:

Accesibilidad potencial de cargas

$$apc = \sum \frac{M \left\{ \frac{\sum tmda_{ct}}{\sum tn} \right\}}{D \left\{ \frac{\sum tr}{\sum ti} \right\}}$$

Accesibilidad es la sumatoria de la actividad económica, que es dada por el análisis de los TMDA de los camiones pesados utilizados en el transporte de cargas; que se obtuvo a partir de las toneladas asignadas por el modelo por ruta y tramo. Sobre la medida del costo de transporte dada por la distancia, siendo el análisis matemático del tiempo ideal y el real obtenidos de la d, t, l, y v en relación con los datos de los centroides de O/D de la matriz que fue diseñada en base a los datos anteriormente mencionados.

4.5. Validación por regresión lineal y coeficiente de correlación de Pearson

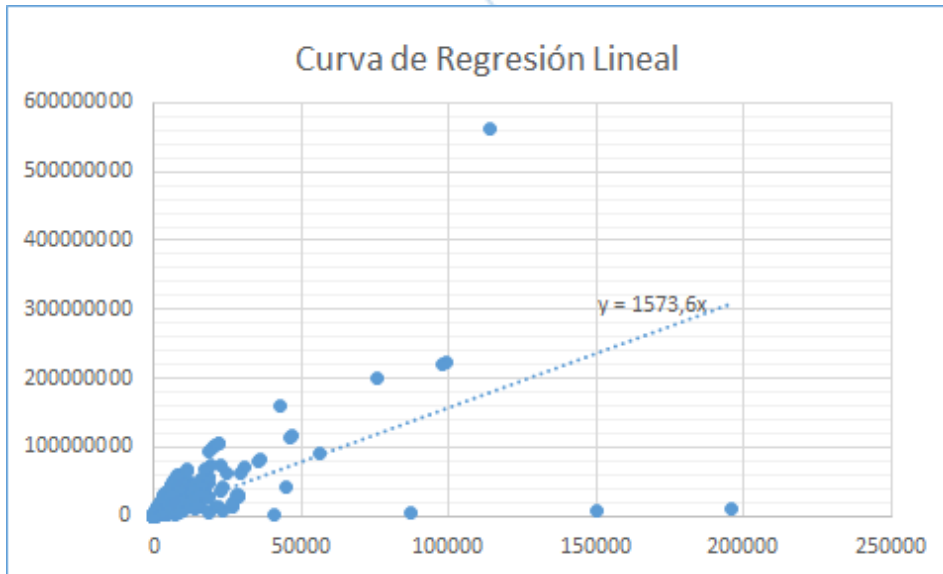
El proceso descrito fue validado por dos métodos: regresión lineal y coeficiente de correlación de Pearson. Para el proceso de regresión lineal se utilizaron los datos de las variables de TMDA y el total de toneladas. Dicha verificación dio como resultado que el coeficiente de correlación en la relación entre las variables x (TMDA de cargas); e (toneladas) es de 0,67: lo cual significa que la correlación es positiva, de moderada a significativa, de manera tal que cuando aumenta una variable aumenta la variable vinculada. Como puede observarse en el gráfico (curva de regresión lineal), el nivel de dispersión es mínimo y la concentración de los puntos se da en la base del diagrama, en la conjunción entre

x e y, lo cual verifica la existencia de una correlación positiva. También fundamenta la existencia de correlación entre las variables expuestas el valor de R^2 , donde el 45% explica la relación que existe entre el TMDA y las toneladas. En el gráfico puede observarse la existencia de un grado muy bajo de dispersión en la nube de puntos que representan las variables analizadas. Como así también la línea de tendencia, que verifica la positividad de la correlación entre las variables.

Resumen		
Estadísticas de la regresión		
Coefficiente de correlación múltiple	0,668935691	
Coefficiente de determinación R^2	0,447474959	
R^2 ajustado	0,446326853	
Error típico	9912,128372	
Observaciones	872	
Análisis de Varianza		
	Grados de libertad	Suma de cuadrados
Regresión	1	69305669231
Residuos	871	85576001596
Total	872	1,54882E+11

Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
69305669231	705,39914	2,7032E-114
98250288,86		

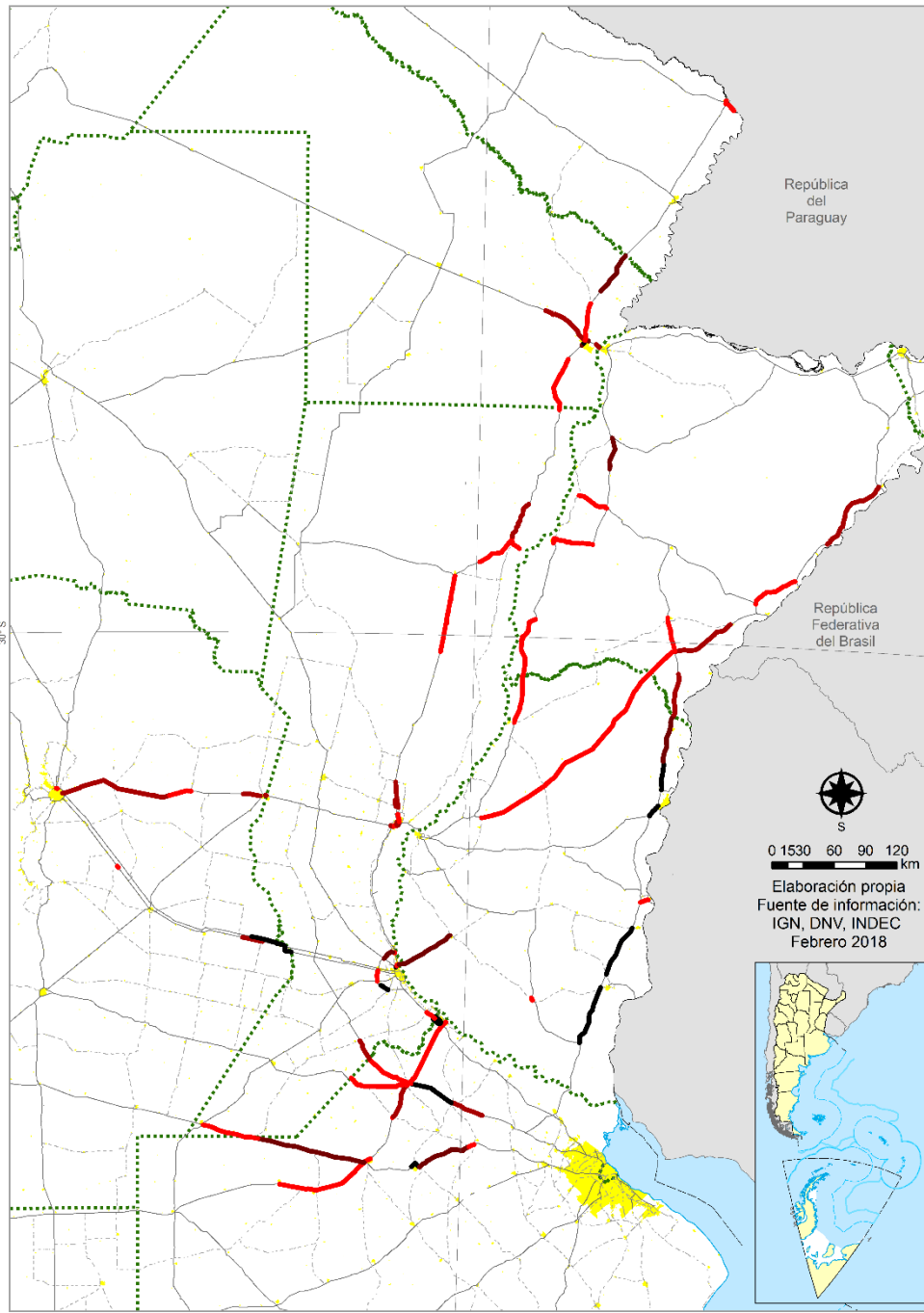
TMDA		Tn	
Media	5392,44903	Media	15256799,3
Error típico	412,56087	Error típico	927388,029
Mediana	2850	Mediana	9345825
Moda	4350	Moda	38325
Desviación estándar	12189,76	Desviación estándar	27401138,5
Varianza de la muestra	148590250	Varianza de la muestra	750822389191523
Curtosis	108,46006	Curtosis	193,293558
Coefficiente de asimetría	9,10347999	Coefficiente de asimetría	11,1286681
Rango	195710	Rango	562994250
Mínimo	5	Mínimo	0
Máximo	195715	Máximo	562994250
Suma	4707608	Suma	13319185800
Cuenta	873	Cuenta	873
Mayor (1)	195715	Mayor (1)	562994250
Menor (1)	5	Menor (1)	0
Nivel de confianza (95,0%)	809,72835	Nivel de confianza (95,0%)	1820173,54



4.6. Vulnerabilidad y criticidad, resultados de la metodología utilizada y aplicación del instrumento informático

La siguiente representación cartográfica de las rutas nacionales y provinciales, dan cuenta de la afectación de la accesibilidad a causa de inundaciones. Como podrá observarse, las vías involucradas abarcan casi todo el litoral paranaense y una parte significativa correspondie al río Uruguay, frontera con Uruguay y el sur de Brasil. Siete provincias argentinas son afectadas directamente, entre ellas las que comparten la Zona Núcleo de la producción agrícola argentina.

Representación gráfica de todos los cortes por inundaciones 2015-2016



Fuente: Elaboración propia

Los efectos del cierre de tramos sobre la red vial en términos de pérdidas de accesibilidad se muestran en los mapas siguientes y para cada uno de los escenarios considerados. El análisis desarrollado en esta sección del estudio está representado por mapas donde los niveles de afectación de la red se grafican a

partir del área de influencia del arco interrumpido. La cartografía cuantitativa, en este caso, da cuenta de la información relacionada con las bases de datos de naturaleza discreta y delimitados por las entidades adoptadas en la generación de matrices de flujos, arcos y nodos componentes de la red vial, que a su vez están contenidos en unidades espaciales como departamentos, provincias y regiones.

La vulnerabilidad de la red es representada a partir de los diferentes niveles de afectación de la accesibilidad, esquematizados en forma de buffers. Este tipo de análisis permite determinar en diferentes escalas -local y regional- el impacto generado con distintas intensidades por cortes de arcos en la red vial. El nivel de impacto está relacionado con el área circundante al arco afectado. En la escala local, esta representación se visualiza en el territorio directo donde se produce el corte. En el caso del análisis a escala regional, la sucesión mayor a un buffer resulta en una representación regional, sumatoria de varios departamentos y provincias en los cuales se registran interrupciones de arcos de red. Como cada arco es representado con un color uniforme en la totalidad de su extensión, en el caso de tramos de mayor extensión (por ejemplo, 30 km o más) es posible encontrar arcos de criticidad menor ingresando en buffers de áreas de máxima afectación, dado que el centroide de donde se tomó su TMDA se encuentra en el centro de dicho arco, que dada la extensión del mismo cae fuera del buffer de mayor afectación a la accesibilidad. La longitud del arco indica asimismo la existencia de un menor mallado de la red en el área, toda vez que las intersecciones entre caminos son el factor que da a cada arco su medida. Lo que explica la mayor vulnerabilidad del área a pesar de la relativamente menor criticidad del arco que la atraviesa.

Si bien los shapes analizados contienen información desagregada a nivel localidad, se decidió dividir esta instancia del análisis en provincias para favorecer la representación gráfica. En el caso de buffers de criticidad que afectan a más de una provincia, se eligió mostrar el buffer completo, por lo cual parte de éste se extiende más allá del límite provincial.

Cabe acotar que si bien sólo están representadas las provincias del litoral que presentan cortes en su territorio, otras regiones productivas que se sirven de los nodos del litoral para dar salida a sus cargas son indirectamente afectadas -a un grado menor- por la congestión surgida de la menor disponibilidad de caminos en el hinterland inmediato de dichos nodos y los mayores tiempos de circulación de los tráficos por los caminos alternativos. Es en particular el caso del NOA, en las áreas que aportan cargas al hinterland del nodo Paraná Medio.

Del análisis de estos mapas se deduce que los efectos de la interrupción del tráfico en ciertos tramos lógicamente tienden a disminuir con la distancia con respecto al tramo cortado, ya que a medida que aumenta la distancia es más fácil encontrar rutas alternativas que impliquen una menor cantidad de kilómetros recorridos en términos relativos.

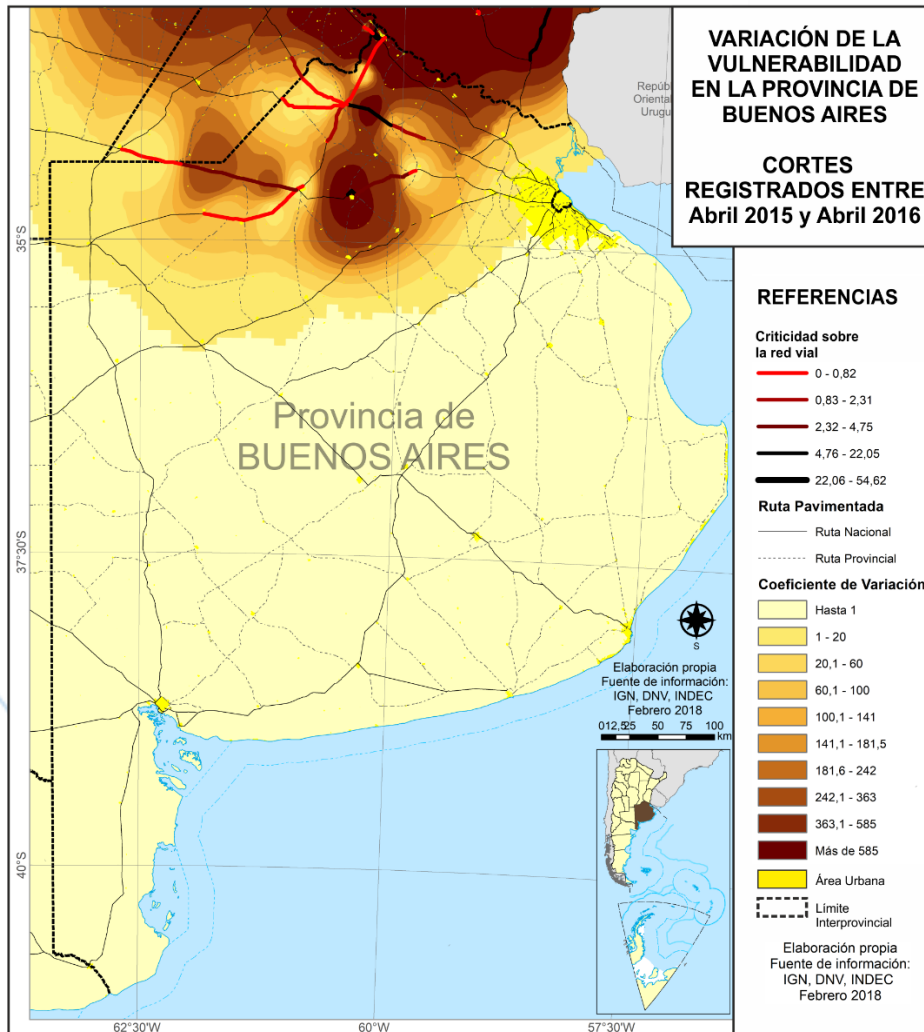
Vulnerabilidad y Criticidad: Provincia de Buenos Aires

En el caso de Buenos Aires, las interrupciones del tráfico en las rutas del norte de la provincia presentan los mayores porcentajes de vulnerabilidad y afectación en los niveles de accesibilidad. Dado que una parte significativa de las actividades productivas y los asentamientos de población en las localidades analizadas están conectadas por los arcos de red interrumpidos, el cierre de las rutas representadas en el mapa también produce una importante pérdida de accesibilidad en las localidades situadas más allá del tramo cortado; los rangos alcanzan los niveles máximos de variación. Por lo tanto, los efectos de los cortes en este tipo de rutas están focalizados a escala local, pero presentan una importante afectación en la accesibilidad que excede los límites del municipio que contiene el corte; en líneas generales, la afectación se da en un grupo de municipios.

En el vértice norte de la provincia, en las proximidades de San Nicolás, una importante porción del litoral del Paraná Inferior es afectada por el desborde de afluentes que atraviesan la llamada pampa ondulada de oeste a este, continuando un patrón que también se observa en el sur de Santa Fe. En particular, el tramo de la RN 9 entre San Nicolás y el límite con Santa Fe presenta el mayor coeficiente de variación de la criticidad de todos los casos analizados dado el tonelaje pasante involucrado, también el mayor de la serie. Se trata de un tramo de poca longitud (6 km), si bien existen otros cortes aledaños para los cuales no hubo información suficiente como para calcular un coeficiente de variación adecuado. En dirección sudoeste respecto de San Nicolás, la cuenca del río Arrecifes y el arroyo Pergamino genera eventos de afectación cercana a los máximos registrados; el corte más importante ocurre en la RN 8 entre Arrecifes y Pergamino, dado que el tramo tiene 44 km de extensión. La RN 7 también presenta interrupciones de consideración en la cuenca del Salado, a la altura de Leandro N. Alem y también en Chacabuco, donde una serie de cortes provoca la mayor afectación del área de la provincia, vinculada con el área afectada de Pergamino al norte. Al oeste de Alem y en el límite con el sur de la provincia de Santa Fe, un corte en la ruta 188 afecta al partido de General Pinto en un área también considerable, si bien el nivel de criticidad es menor.

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de Buenos Aires

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	Tn Total	Coficiente de Variación	Media Aritmetica
0007	A/N R.N.188 - INT.R.P.50	47,67	4161	0,03178	23465850	2,75225E+14	11735005,5
0008	ACC.A CAP.SARMIENTO (I) - ARRECIFES (ENT.)	29,89	4860	0,01992667	16474275	1,35621E+14	8239567,5
0008	ACC.A COLON (D) - LTE.C/SANTA FE	9,77	3080	0,00651333	6236025	1,94248E+13	3119552,5
0188	ACCESO A JUNIN (I) - B/N R.N.7	7,11	4300	0,00474	0	9245000	2150
0008	ARRECIFES (ENT.) - ARRECIFES (SAL.)	2,67	0	0,00178	14508750	1,05252E+14	7254375
0008	ARRECIFES (SAL.) - PERGAMINO (ENT.)	44,01	4465	0,02934	38609700	7,45182E+14	19307082,5
0008	ARRECIFES (SAL.) - PERGAMINO (ENT.)	44,01	4656	0,02934	38609700	7,45175E+14	19307178
0009	B/N ACC.A SAN NICOLAS - LTE.C/SANTA FE	5,59	25487	0,00372667	104545125	5,46218E+15	52285306
0188	B/N R.N.7 - INT.R.P.50 (A LINCOLN)	54,73	3761	0,03648667	0	7072560,5	1880,5
0188	B/N R.N.9 - ACC.A PERGAMINO	64,11	2768	0,04274	0	3830912	1384
0008	EMP.R.N.188/178 - PERGAMINO (SAL.)	5,04	0	0,00336	0	0	0
0188	EMP.R.N.8 (F.SUP.) - INT.R.P.31	34,6	4050	0,02306667	19074900	1,81849E+14	9539475
0007	EMP.R.P.30 - ACC.A MEMBRILLAR (D) (CHACABUCO (SAL)	4,94	7750	0,00329333	39858000	7,94021E+14	19932875
0007	EMP.R.P.30 (I) (P.SUP) - EMP.R.P.30 (D) (F.SUP.)	5,4	7100	0,0036	38938200	7,57815E+14	19472650
0188	INT.R.N.178/EMP.R.N.8 (P.SUP.) - EMP.R.N.8 (F.SUP.)	2,07	0	0,00138	32439375	5,26157E+14	16219687,5
0178	INT.R.N.8/188 (PERGAMINO) - PERGAMINO (SAL.)	3,16	0	0,00210667	0	0	0
0007	INT.R.P.14 (D) - LTE.C/SANTA FE	7,32	2960	0,00488	0	4380800	1480
0188	INT.R.P.31 - ACC.A ROJAS (D)	1,13	0	0,00075333	0	0	0
0007	INT.R.P.31 (D) - EMP.R.P.30 (I) (P.SUP) (CHACABUCO)	54,21	5354	0,03614	30829725	4,75071E+14	15417539,5
0008	INT.R.P.31 (I) (ROJAS) - ACC.A COLON (D)	11,5	4400	0,00766667	0	9680000	2200
0007	INT.R.P.50 - INT.R.P.14 (D)	57,66	3850	0,03844	25885800	3,34938E+14	12944825
0178	INT.R.P.50 - LTE C/SANTA FE	14,54	1340	0,00969333	1691775	1,42879E+12	846557,5
0188	INT.R.P.50 (A LINCOLN) - ACC.A GENERAL PINTO (D)	36,45	3000	0,0243	11601525	6,72629E+13	5802262,5
0007	INT.R.P.51 - INT.R.P.31 (D)	5,66	7391	0,00377333	0	27313440,5	3695,5
0008	PERGAMINO (ENT.) - EMP.R.N.188/178	2,01	0	0,00134	0	0	0
0008	PERGAMINO (SAL.) - INT.R.P.31 (I) (ROJAS)	34,48	3100	0,02298667	0	4805000	1550
0178	PERGAMINO (SAL.) - INT.R.P.50	29,09	765	0,01939333	1653450	1,36568E+12	827107,5
0188	PUERTO SAN NICOLAS - B/N R.N.9	6,53	0	0,00435333	0	0	0



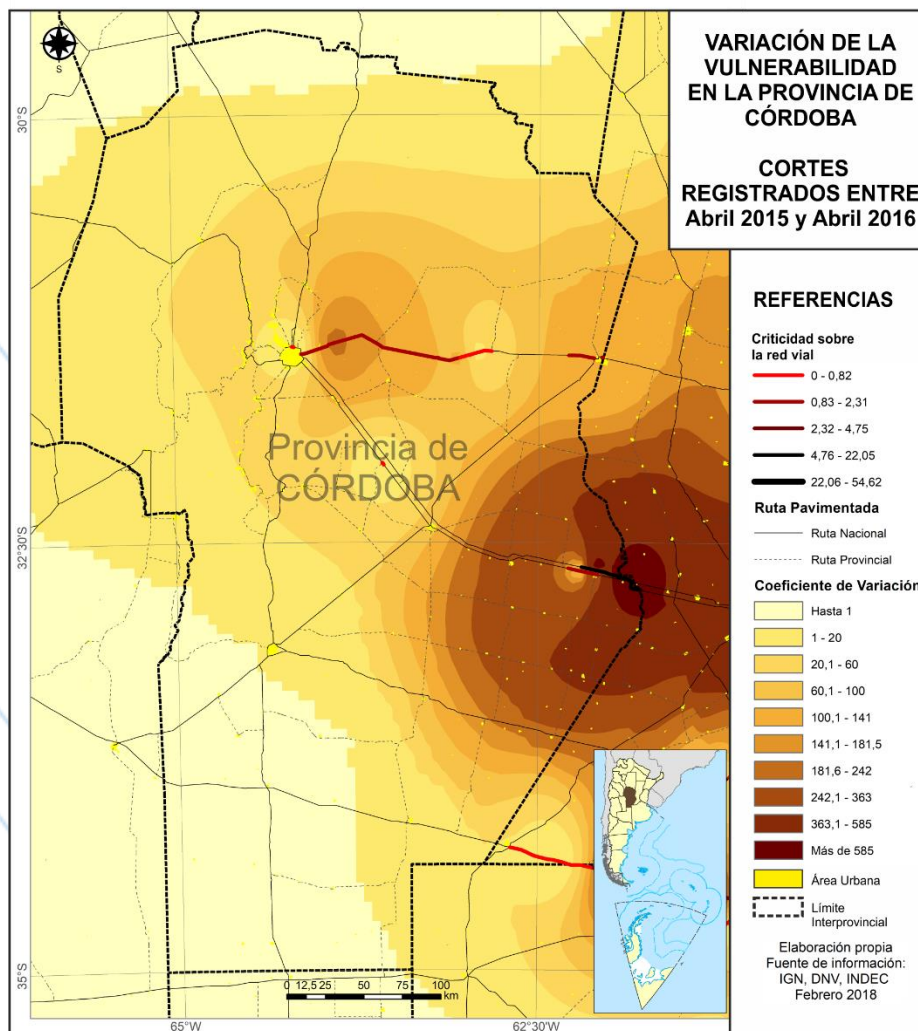
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y Criticidad: Provincia de Córdoba

La provincia de Córdoba presenta los mayores niveles de vulnerabilidad en la zona centro-este; las rutas afectadas son arcos de red vinculados al sur de la provincia de Santa Fe y el noroeste de la provincia de Buenos Aires. En estos tramos vinculados en el límite con dichas provincias y que se continúan en éstas, el nivel de afectación en una parte de la Zona Núcleo se encuentra entre los rangos más altos registrados. La principal área afectada de la provincia, en el límite con la provincia de Santa Fe, es Marcos Juárez, y el tramo interrumpido corresponde a la autopista entre Córdoba y Rosario (RN 9). Más cerca de la capital cordobesa, un corte de poca extensión (1,3 km) genera una variación importante de la vulnerabilidad en las cercanías de Río Primero.

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de Córdoba

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	Tn Total	Coefficiente de variación	Media Aritmetica
0019	INT.R.P.3 (D) - ARROYITO (ENT.)	21,54	5200	0,01436	5168400	1,33293E+13	2586800
0019	LTE.C/SANTA FE - SAN FRANCISCO (ENT.)	0,94	4650	0,00062667	14870100	1,10491E+14	7437375
1V09	LTE.C/SANTA FE - ACC.A MARCOS JUAREZ	24,76	8750	0,01650667	37881525	7,17174E+14	18945137,5
1V09	ACC.A MARCOS JUAREZ - ACC.A LEONES (I)	19,7	9150	0,01313333	40690200	8,27474E+14	20349675
0019	ARROYITO (ENT.) - ARROYITO (SAL.)	1,48	0	0,00098667	14443050	1,04301E+14	7221525
0019	INT.R.N.158 (I) - DEVOTO (ENT.)	16,76	5100	0,01117333	14470425	1,04623E+14	7237762,5
0019	ARROYITO (SAL.) - RIO PRIMERO (ENT.)	55,7	5992	0,03713333	14870100	1,10471E+14	7438046
0019	RIO PRIMERO (ENT.) - RIO PRIMERO (SAL.)	1,34	0	0,00089333	16912275	1,43013E+14	8456137,5
0019	RIO PRIMERO (SAL.) - CORDOBA (ENT.)	53,08	6600	0,03538667	19370550	1,87481E+14	9688575
A019	B/N RN 2V09 - B/N RN 9	1,32	28400	0,00088	0	403280000	14200
0009	OLIVA (ENT.) - OLIVA (SAL.)	1,8	0	0,0012	4040550	8,16302E+12	2020275
0009	MARCOS JUAREZ (SAL.) - ACC.A LEONES (I)	16,59	4750	0,01106	13807950	9,52642E+13	6906350
0009	MARCOS JUAREZ (ENT.) - MARCOS JUAREZ (SAL.)	3,11	0	0,00207333	16797300	1,41075E+14	8398650



Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y Criticidad: Provincia de Santa Fe

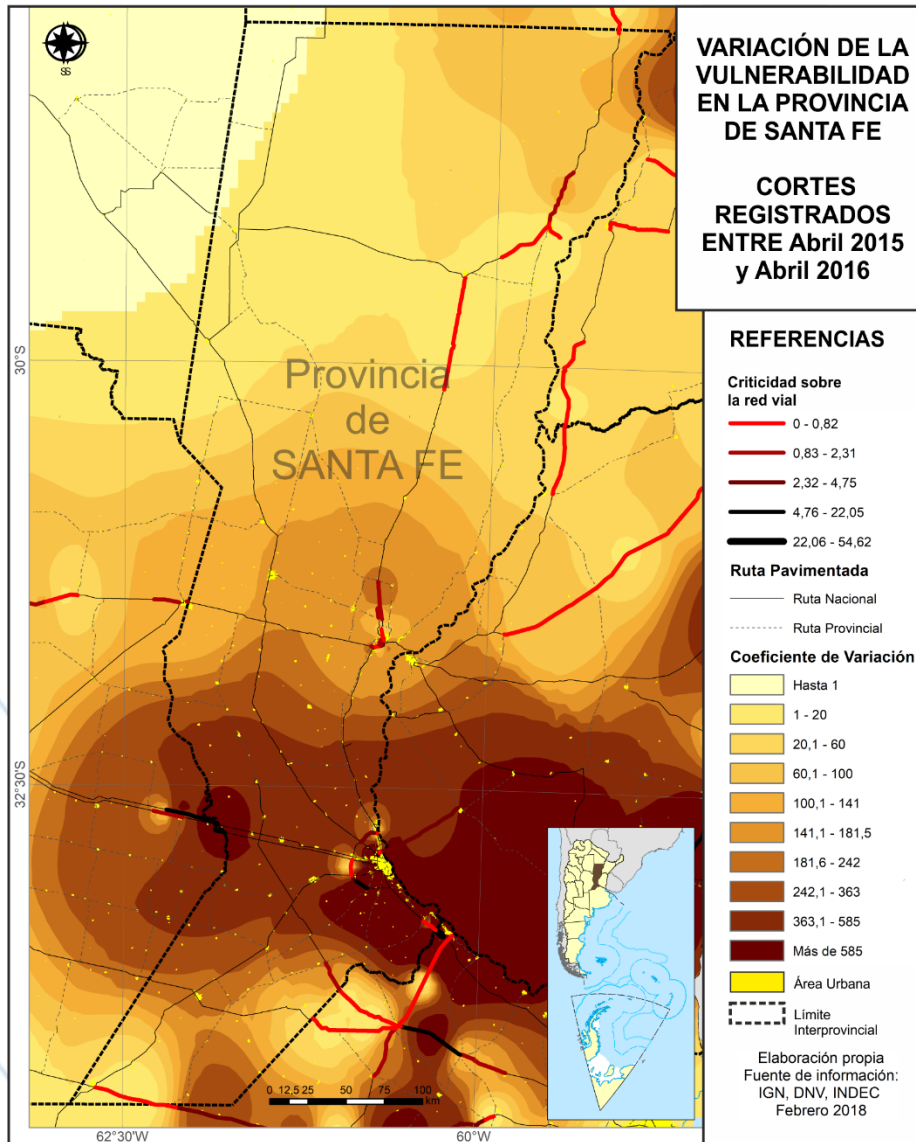
El litoral del Paraná comprende las provincias de Formosa, Chaco, Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. Las dos últimas son las más afectadas por las dificultades de accesibilidad a un gran número de localidades; los rangos de vulnerabilidad se encuentran entre los más altos en gran parte de la red de ambas provincias.

Las dos principales áreas con afectaciones a la accesibilidad en la provincia de Santa Fe son la ya citada de la RN 9 en el límite con Córdoba (Marcos Juárez – Belgrano) y al sudeste, entre Rosario y el límite con la provincia de Buenos Aires, también siguiendo la RN 9 (Arroyo Seco, Presidente Alvear y Villa Constitución). Ambas áreas suponen los picos de criticidad de los tramos afectados en una zona más amplia que abarca todo el centro-sur de la provincia, si bien hay afectaciones a la accesibilidad en casi toda ella. Al norte de Santa Fe capital, entre Recreo y Nelson, un corte en la RN 11 genera un área de vulnerabilidad y superficie menores respecto de las anteriores. No obstante, todo el norte de la provincia es afectado, si bien en menor medida, por estas interrupciones.

Como puede observarse, el mayor problema se presenta en diferentes zonas con una pronunciada criticidad en un número significativo de arcos en la red vial de Santa Fe, Entre Ríos, Córdoba y norte de la provincia de Buenos Aires, que conforman un área de vulnerabilidad interconectada en el rango máximo de variación. Esta afectación supone un escenario de amplia vulnerabilidad regional, puesto que se trata de una importante zona de actividad productiva agrícola e industrial, con un gran número de núcleos urbanos intermedios, cuya población se encuentra impactada por estos eventos.

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de Santa Fe

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	Tn Total	Coefficiente de variación	media aritmetica
0007	LTE.C/BUENOS AIRES - INT.R.N.33	47,02	2960	0,03134667	0	4380800	1480
0009	INT.R.N.33 (I) - B/N R.N.A008/ROSARIO (SAL.)	3,34	0	0,00222667	73912500	2,73153E+15	36956250
0009	LTE.C/BUENOS AIRES - B/N EX.R.N.177	9,15	25487	0,0061	9061125	4,08214E+13	4543306
0011	RECONQUISTA (SAL.) - LAS GARZAS	37,02	3360	0,02468	15089100	1,1379E+14	7546230
0011	RECONQUISTA (ENT.) - RECONQUISTA (SAL.)	2,72	0	0,00181333	5151975	1,32714E+13	2575987,5
0011	INT.R.N.19 (I) - B/N R.N.A007/SANTA FE (ENT.)	3,94	0	0,00262667	7298175	2,66317E+13	3649087,5
0011	ACC.A MALABRIGO - RECONQUISTA (ENT.)	39,24	3700	0,02616	3115275	4,84095E+12	1559487,5
0011	INT.R.N.168 (D) - SANTA FE (SAL.)	7,71	0	0,00514	3575175	6,39094E+12	1787587,5
0011	ACC.A VERA Y PINTADO - INT.R.N.98 (I)	74,88	3203	0,04992	5151975	1,32549E+13	2577589
0011	B/N R.N.A007/SANTA FE (ENT.) - INT.R.N.168 (D)	4,14	0	0,00276	23953125	2,86876E+14	11976562,5
0011	INT.R.P.70 (I) - INT.R.P.4 (I)	24,66	4550	0,01644	21357975	2,27984E+14	10681262,5
0019	INT.R.N.11 - A/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO-SANTA FE)	2,91	8850	0,00194	21489375	2,30706E+14	10749112,5
0178	LTE.C/BUENOS AIRES - INT.R.P.90	20,5	1340	0,01366667	19069425	1,81796E+14	9535382,5
1V11	INT.R.P.70 - INT.R.N.11 (RECREO)	8	0	0,00533333	15160275	1,14917E+14	7580137,5
A007	R.N.11 - B/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO/SANTA FE)	4,48	6300	0,00298667	18078450	1,63301E+14	9042375
A008	INT.R.N.11(D) - B/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO/SANTA FE)	1,76	23200	0,00117333	12121650	7,31862E+13	6072425
A008	B/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO/SANTA FE) - A/N R.N.34	1,36	37700	0,00090667	66455550	2,20567E+15	33246625
A009	PUERTO RECONQUISTA - INT.R.N.11	12,06	1280	0,00804	0	819200	640
A012	INT.R.N.34 - A/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO/SANTA FE)	11,15	6800	0,00743333	26000775	3,37843E+14	13003787,5
A012	INT.R.P.14 - INT.R.P.17 S	11,36	6229	0,00757333	52636650	1,38498E+15	26321439,5
A012	A/N R.P.AP01 (AUT.ROSARIO/SANTA FE) - INT.R.N.11	2,08	11200	0,00138667	0	62720000	5600
A012	A/N R.N.33 - B/N R.N.1V09 (AU.ROSARIO/CORDOBA)	10,36	7650	0,00690667	0	29261250	3825



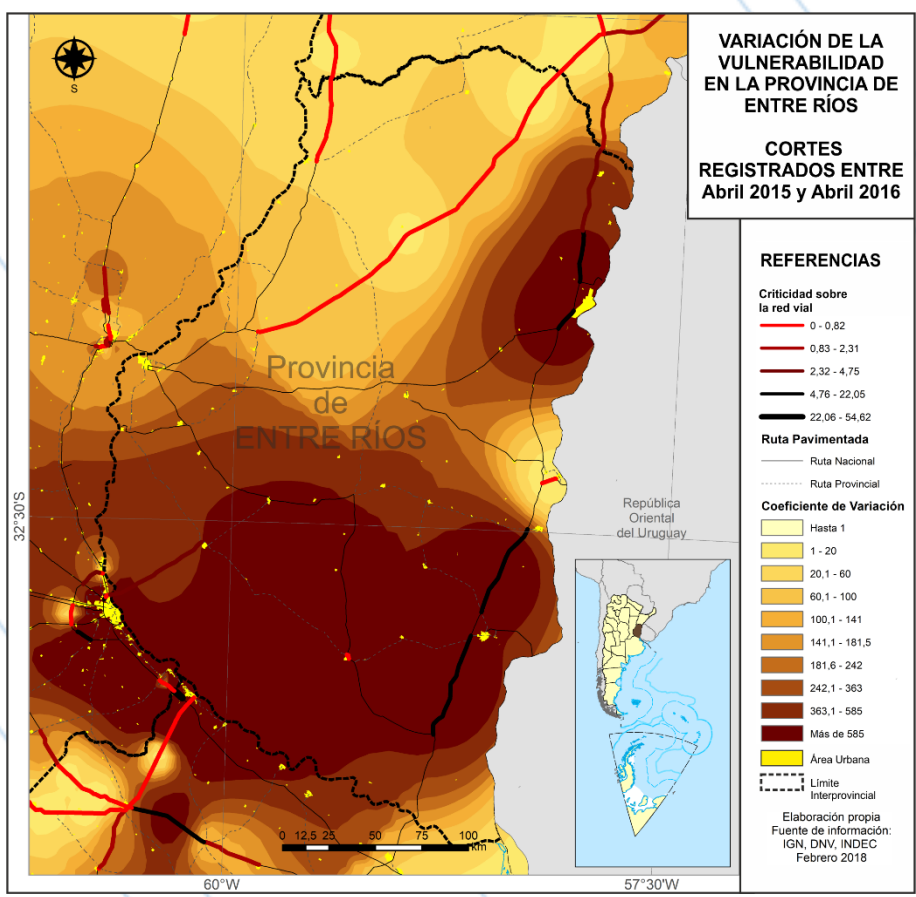
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y Criticidad: Provincia de Entre Ríos

Esta área abarca casi todo el sur de la provincia de Entre Ríos, donde tanto la RN 12 como la AU 14 presentan cortes, y el mallado de la red pavimentada es sensiblemente menor al de las provincias vecinas de la Zona Núcleo, por lo que el área afectada en su accesibilidad aumenta. Los cortes más importantes se dan la AU 14: entre Concepción del Uruguay y Gualaguaychú, al sur entre Ceibas y Gualaguaychú, y al nordeste, en la zona de Concordia. En todos estos tramos se registran algunos de los niveles máximos de afectación a la accesibilidad observados a nivel país. El mayor coeficiente de variación se da en el tramo de la AU 14 a la altura de Concepción del Uruguay, de gran extensión (52 km), aunque otro corte en la misma vía hacia Concordia tiene un nivel similar de afectación en un arco de extensión mucho menor (13 km).

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de Entre Ríos

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	Tn Total	Coefficiente de Variacion	Media Aritmetica
0014	ACC.A CHAJARI (D) - LTE.C/CORRIENTES	15,47	5515	0,01031333	30523125	4,65662E+14	15264320
0014	ACC.A FEDERACION (D) - ACC.A CHAJARI (D)	31,26	5600	0,02084	30156300	4,54532E+14	15080950
0014	B/N R.N.12 (CEIBAS) - ACC.A GUALEGUAYCHU (D)	58,9	10857	0,03926667	40005825	7,99799E+14	20008341
0012	GUALEGUAY (ENT.) - GUALEGUAY (SAL.)	3,12	0	0,00208	9345825	4,36722E+13	4672912,5
0135	INT.R.N.14 - ACC.A COLON (I)	7,82	5000	0,00521333	2190000	2,38711E+12	1097500
0014	INT.R.N.18 (I) - CONCORDIA (D) (ENT.)	12,89	9700	0,00859333	40438350	8,17238E+14	20224025
0014	INT.R.N.A015 (D) (A S.GRANDE) - ACC.A FEDERACION (D)	27,8	6400	0,01853333	36206175	6,55212E+14	18106287,5
0012	INT.R.P.1 (I) (LA PAZ) - LTE.C/CORRIENTES	42,55	1420	0,02836667	9553875	4,56247E+13	4777647,5
0127	INT.R.P.2 (LOS CONQUISTADORES) - LTE.C/CORRIENTES	40,99	1180	0,02732667	0	696200	590
0014	INT.R.P.20 - B/N R.P.39 (A C.DEL URUGUAY)	52,07	7400	0,03471333	40827075	8,33123E+14	20417237,5
0127	INT.R.P.22 (D) ACC.A FEDERAL - INT.R.P.2	53,17	1426	0,03544667	11371575	6,46401E+13	5686500,5
0127	INT.R.P.32 (HASENKAMP) - INT.R.P.6	68,63	1714	0,04575333	11103300	6,16226E+13	5552507
0127	INT.R.P.6 - INT.R.P.22 (D) ACC.A FEDERAL	58,07	1700	0,03871333	5814450	1,6894E+13	2908075
0174	LTE.C/SANTA FE - INT.R.P.11 (VICTORIA)	58	6261	0,03866667	27035550	3,65291E+14	13520905,5



Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y Criticidad: Provincias de Chaco y Formosa

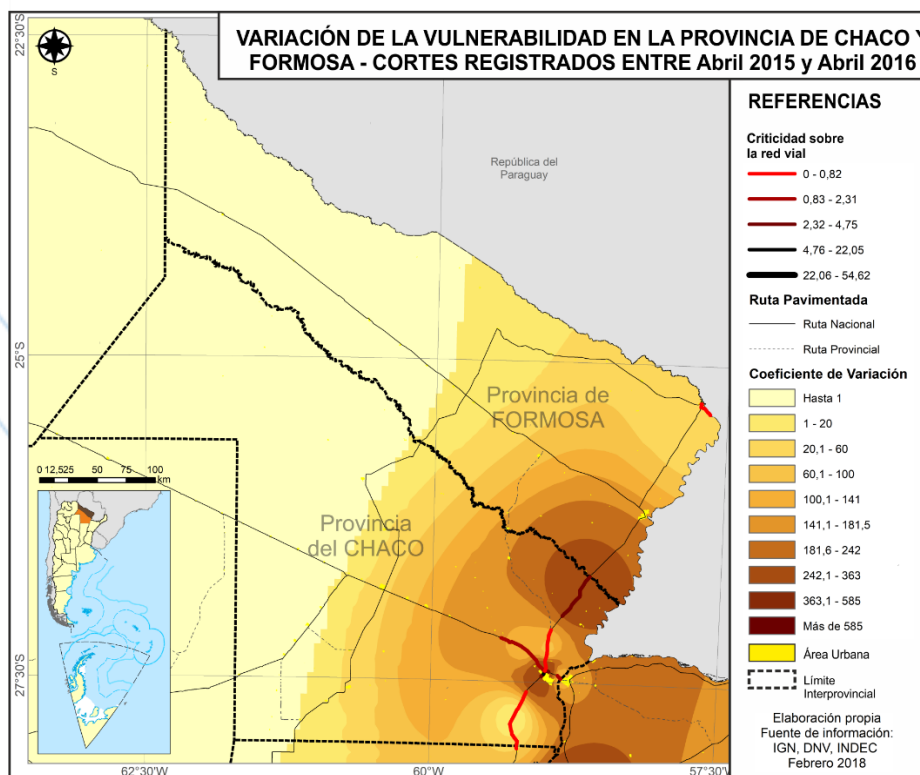
Más al norte, las provincias de Chaco y Formosa son en el litoral paranaense las menos afectadas, por lo que se las presenta juntas en un solo mapa para una mayor comprensión, dado que el área de mayor afectación está en el límite entre ambas provincias, en la desembocadura del río Bermejo en el Paraná. Si bien la afectación a la accesibilidad es menor, el área involucrada es considerable dado

el menor mallado vial. Un foco menor puede apreciarse en los accesos a la capital chaqueña, Resistencia, y comprende tramos de la RN 11 y la RP 16, afectados por el arroyo Barranqueras; el arco correspondiente al acceso por la RN 11 tiene uno de los diez rangos mayores de variación de todos los estudiados, si bien la poca longitud del tramo (menos de 3 km) y la presencia de otros accesos a la capital resultan en una afectación de área menor.

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de las provincias de Chaco y Formosa

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	tn total	Coefficiente de variacion	Media Aritmetica
0016	ACC.A RESISTENCIA (I) - INT.R.N.11	3,6	11500	0,0024	26433300	3,49056E+14	13222400
0016	INT.R.N.11 - INT.R.P.11	49,49	7934	0,03299333	15280725	1,16629E+14	7644329,5
0011	INT.R.N.16 - INT.R.P.90 (I)	36,97	6113	0,02464667	12800550	8,18488E+13	6403331,5
0011	INT.R.P.56 (D) (A LA LEONESA) - LTE.C/ FORMOSA	43	2680	0,02866667	24626550	3,03167E+14	12314615
0016	LTE.C/CORRIENTES - ACC.A BARRANQUERAS	4	21667	0,00266667	13928400	9,66986E+13	6975033,5
0011	LTE.C/SANTA FE - INT.EX.R.N.89 (I)	52,8	2540	0,0352	0	3225800	1270
0011	RESISTENCIA (ENT.) - RESISTENCIA (SAL.)	2,93	0	0,00195333	26433300	3,4936E+14	13216650
0011	RESISTENCIA (SAL.) - INT.R.N.16	2,85	20850	0,0019	40361700	8,13692E+14	20191275

ruta	nom_tramo	long_tramo	tmda_nro	tiempo	Tn total	Coefficiente de variacion	Media Aritmetica
0011	INT.R.N.A011 (D) - ACC.A CLORINDA	2,98	3650	0,00198667	7314600	2,6725E+13	3659125
A011	INT.R.N.11 (CLORINDA) - PUERTO PILCOMAYO	11,13	1200	0,00742	7900425	3,11989E+13	3950812,5
0011	ACC.A CLORINDA - INT.R.N.86	0,68	10980	0,00045333	8371275	3,49473E+13	4191127,5



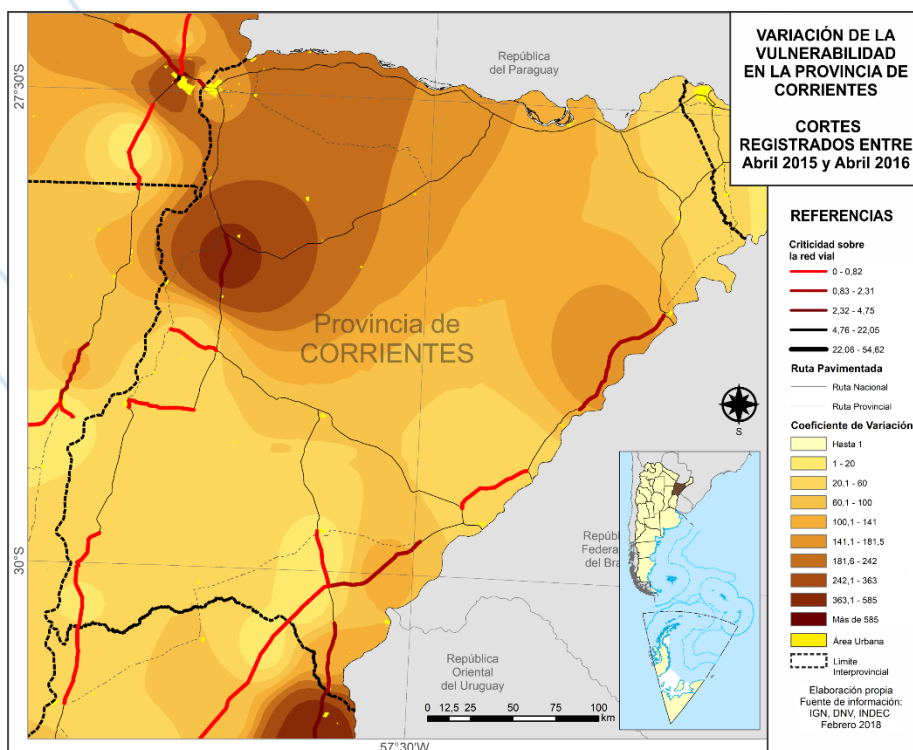
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y Criticidad: Provincia de Corrientes

En tanto, Corrientes es afectada sobre todo en el borde noroeste sobre el Paraná, en particular en el departamento de Saladas, donde confluyen las rutas nacionales 12 y 118. Afectaciones menores involucran un tramo de la RN 14 a la altura del paso internacional de Santo Tomé - São Borja, en el nordeste, y otro de la RN 12 al suroeste, en Esquina. Otros tramos afectados por las inundaciones en el sur provincial son continuaciones de los fenómenos observados en la vecina Entre Ríos, con niveles de criticidad menores.

Ponderación de la criticidad y vulnerabilidad en la provincia de la provincia de Corrientes

ruta	nom_tramo	long_tramo	tramo_nro	tiempo	Tn total	coeficiente de	media aritmetica
0012	ACC.A GOYA (I) - INT.R.P.24 (PARAJE BATEL)	42,87	1240	0,02858	4150050	2,2409E+13	2075645
0012	ESQUINA - INT.R.P.30 (D) (A MALVINAS)	28,7	1720	0,01913333	6695925	5,2058E+13	3348822,5
0012	LTE.C/ENTRE RIOS - ESQUINA	35,15	1420	0,02343333	10205400	1,4065E+13	5103410
0012	INT.R.P.100 - INT.R.N.118 (D) (A SALADAS)	31,31	2150	0,02087333	5305275	3,9714E+14	2653712,5
0014	ACC.A ALVEAR (D) - INT.R.N.121 (D) (SANTO TOME)	81,64	2700	0,05442667	28185300	1,7158E+14	14094000
0014	INT.R.N.127 Y 119 (CUATRO BOCAS) - INT.R.P.126 (I)	62,87	3550	0,04191333	18527400	1,1255E+14	9265475
0014	LTE.C/ENTRE RIOS - INT.R.P.129 (D) (TRES BOCAS)	40,54	5515	0,02702667	15006975	1,2797E+14	7506245
0014	INT.R.N.123 (I) - INT.R.N.122 (D) (A YAPEYU)	46,21	2903	0,03080667	16003425	3,3834E+13	8003164
0119	INT.R.N.14 Y 127 - ACC.A CURUZU CUATIA (D)	33,22	1900	0,02214667	8228925	4,0633E+11	4115412,5
0123	INT.R.P.27 - INT.R.N.12	30,82	620	0,02054667	903375	4,3666E+13	451997,5
0127	LTE.C/ENTRE RIOS - INT.R.N.14 (D) Y R.N.119 (I)	32,02	1180	0,02134667	9345825	4,3661E+13	4673502,5

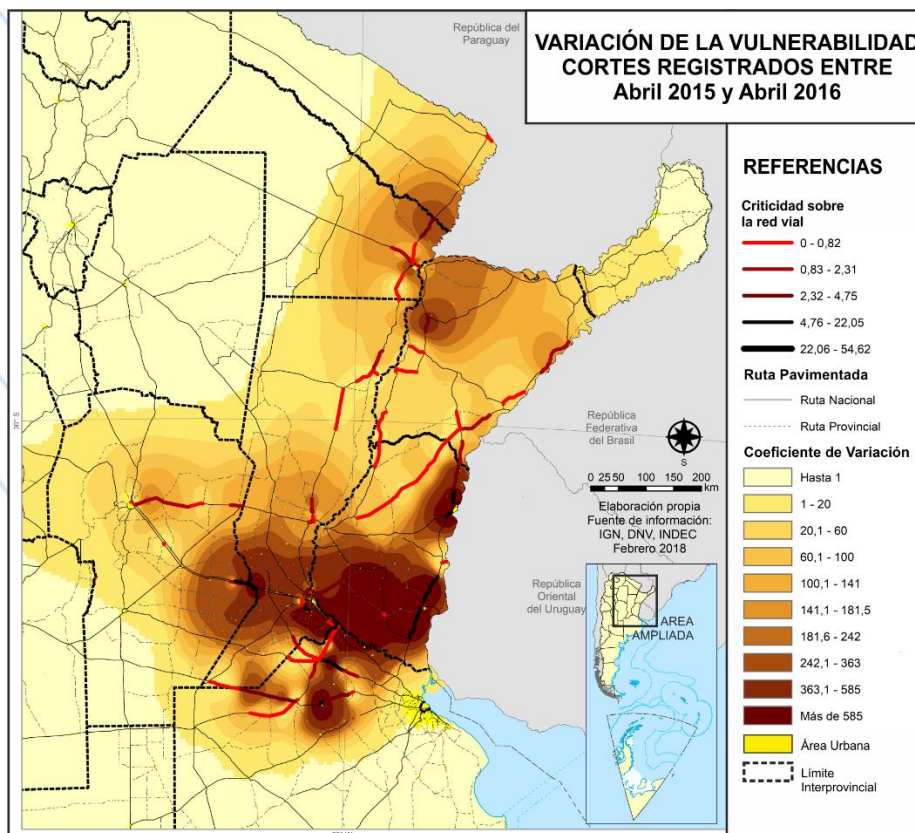


Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad y criticidad en el total de las provincias afectadas

Las zonas inmediatas a los tramos cortados son las que muestran variaciones de accesibilidad más acusadas, que tienden a hacerse menores con la distancia. El impacto del cierre de tramos (criticidad) es mayor en las vías radiales, en las de gran capacidad (por canalizar gran parte de los flujos) y en áreas con menor densidad de red (por la imposibilidad de elegir rutas alternativas). En el caso de las vías radiales las consecuencias son marcadamente asimétricas, mucho mayores en las localidades situadas más allá del tramo cortado. Por otro lado, si en este tipo de rutas el tramo cortado se sitúa en zonas rurales con pocos asentamientos de población, los efectos llegan lógicamente a un menor número de localidades, lo cual implica un mayor grado de polarización espacial. Los cortes de carreteras secundarias no radiales producen en general efectos débiles y muy polarizados (afectan a muy pocas localidades).

En el siguiente mapa puede visualizarse el conjunto de las provincias directamente afectadas, con los diferentes niveles de vulnerabilidad, desde la escala regional.



Fuente: Elaboración propia

De los parámetros tenidos en cuenta para la elaboración del coeficiente de variación de la accesibilidad (longitud del tramo, tiempos de circulación, velocidad y toneladas totales inferidas a partir del TMDA), las toneladas totales

resultan el factor más importante, guardando en gran medida una proporción directa con las variaciones a la accesibilidad en la red estudiada. El segundo factor, mucho menos importante, es la longitud del tramo, con elevaciones moderadas del nivel de accesibilidad a igual o similar tonelaje, en algunos casos de tramos de gran extensión. Como fuera indicado anteriormente, esta extensión es indicativa de un mallado menor de la red vial en el área cubierta por dichos tramos.

Desde el punto de vista de las políticas de transporte, la metodología propuesta permite identificar tramos especialmente críticos a los que la administración debe prestar una particular atención. Sin duda, las vías de gran capacidad son elementos críticos de la red debido a la mayor cantidad de tráfico que canalizan. Pero también hay que resaltar la importancia de ciertos tramos que, aun con poco tráfico, son críticos para algunas localidades, especialmente cuando hay escasas vías alternativas por tratarse de espacios con baja densidad de red. De lo anterior se desprende que los análisis de vulnerabilidad de las redes aportan información de interés, tanto para su utilización en el desarrollo de la gestión como en la planificación del transporte.

5. Comentarios finales

Las zonas inmediatas a los tramos cortados son las que muestran variaciones de accesibilidad más acusadas, tienden a reducirse en la medida que aumenta la distancia. El impacto del cierre de tramos (criticidad) es mayor en las vías radiales, en las de mayor capacidad (por canalizar gran parte de los flujos) y en áreas con menor densidad de red (por la imposibilidad de elegir rutas alternativas). En el caso de las vías radiales las consecuencias son marcadamente asimétricas, mucho mayores en las localidades situadas más allá del tramo cortado. Por otro lado, si en este tipo de rutas el tramo cortado se sitúa en zonas rurales con pocos asentamientos de población, los efectos llegan lógicamente a un menor número de localidades, lo cual implica un mayor grado de polarización espacial. Los cortes de carreteras secundarias no radiales producen en general efectos débiles y muy polarizados (afectan a pocas localidades). Pero si se consideran las afectaciones a las redes de carga los efectos son considerables, puesto que estos tráficos, en muchos casos, representan grandes volúmenes y transitan por estos tramos de carreteras.

Desde el punto de vista de las políticas de transporte, la metodología propuesta permite identificar tramos especialmente críticos a los que la administración debe prestar una particular atención. Sin duda, las vías de gran capacidad son elementos vulnerables de la red debido a la cantidad de tráfico que canalizan. Pero también hay que resaltar la importancia de ciertos tramos que, aun con poco tráfico, son críticos para algunas localidades, especialmente cuando hay escasas vías alternativas por tratarse de espacios con baja densidad de red. De lo anterior se desprende que los análisis de vulnerabilidad de las redes aportan información



de interés, tanto para su utilización en tareas de gestión como de planificación del transporte.

6. Referencias Bibliográficas

BEY, J. M. P., & PONS, J. M. S. (1991). Geografía de redes y sistemas de transporte. Madrid: Editorial Síntesis.

BRUINSMA, F.R. y P. RIETVELD (1998): The accessibility of European cities: Theoretical Framework and Comparison of Approaches. *Environment and Planning, A* 30, 499-521.

CAMPOS NETO, C. A. D. S., & SANTOS, M. D. B. (2005). Perspectivas do crescimento do transporte por cabotagem no Brasil.

DE RUS MENDOZA, G., CAMPOS, J., & NOMBELA, G. (2003). Economía del transporte. Antoni Bosch editor.

DUNDON-SMITH, D.M. y GIBB, R.A. (1994): "The Channel Tunnel and regional economic development". *Journal of Transport Geography*, 2 (3), 178-189.

HANSEN, W.G. (1959) 'How Accessibility Shapes Land Use', *Journal of the American Planning Association*, A. 29 (7), 1175-1194.

LINNEKER, B. y SPENCE, N. (1992): Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain. *Environment and Planning*, 4 (2), 77-92.

NÚÑEZ, E. R., & PUEBLA, J. G. (2012). Análisis de vulnerabilidad de redes de carreteras mediante indicadores de accesibilidad y SIG: Intensidad y polarización de los efectos del cierre de tramos en la red de carreteras de Mallorca. *Geo Focus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (12), 374-394.

MOURA, T. G. Z., GARCIA-ALONSO, L., & SALAS-OLMEDO, M. H. (2017). Delimiting the scope of the hinterland of ports: Proposal and case study. *Journal of Transport Geography*, 65, 35-43.

MÜLLER, A., & BENASSI, A. (2010). Transporte Automotor de Cargas en Argentina: una estimación de Orígenes y Destinos. *CESPA - FCE - UBA*.

PALACIOS, J. G. (1995). La organización espacial de la red de carreteras en Aragón. Aplicación metodológica de la teoría de grafos. *Geographicalia*, 32, 83-101.

PIZZOLATO, N. D., SCAVARDA, L. F., & PAIVA, R. (2010). Zonas de influência portuárias-hinterlands: conceituação e metodologias para sua delimitação. *Gest. Prod., São Carlos*, 17(3), 553-566.

DOCUMENTOS DE TRABAJO

NRO.9 AÑO 2018

Aplicación del módulo t-GIS en la evaluación de criticidad y vulnerabilidad de la red vial troncal nacional y tramos significativos de las redes viales provinciales

Daniel Álvarez