



# Argentina Transport Risk Analysis (ATRA)

MODELO DE RESILIENCIA DE LA  
RED VIAL AL CAMBIO CLIMATICO



# Transporte e Inundaciones

## La punta del Iceberg

Las inundaciones en argentina son responsables de cerca de **US\$ 22.5 Billones** de perdidas económicas desde 1980 y forman el **58%** de todas las **perdidas económicas** ocasionadas por **desastres naturales**.

Es esperable que estas perdidas se incrementen en el futuro, debido a las amenazas relacionadas al cambio climático, alcanzando un potencial impacto de entre el **4,5%-7% del PBI Argentino**.

Para minimizar estos impactos, es necesario incorporar un análisis de vulnerabilidad para el diseño, construcción y mantenimiento de infraestructura vial resiliente al cambio climático.



**GFDRR**  
Global Facility for Disaster Reduction and Recovery



WORLD BANK

Oxford  
Infrastructure  
Analytics

Project Team leader:  
Economics risk modeler:  
Climate change expert:  
Geospatial analyst:  
Project Director:

Dr. Raghav Pant  
Dr. Elco E. Koks  
Dr. Homero Paltan  
Mr. Tom Russell  
Prof. Jim W. Hall

# Vacios de informacion

ATRA es una herramienta de soporte para la planificación

---

- Las interrupciones se verifican en **gran parte de la red vial** durante las inundaciones mas importantes.
- Existe **poco o nula evidencia** de estudios previos e información sobre como estas fallas en la red de transporte impactan sobre la economia.
- Comprender estos riesgos resulta clave para la planificación de un desarrollo sostenido y mejoramiento de la conectividad de la red vial.

# Tucuman

2016

---



# Corrientes RN 12

2017



# Preguntas Claves

**ATRA Busca conocer donde invertir y que inversión aporta mayor beneficio**

---

- Donde se encuentran los puntos de la red vial **expuestos a amenazas** ahora y en el futuro?
- Donde ocurren los **mayores impactos a escala nacional** cuando se interrumpe el transporte de carga debido a fallas en la red (costos de re derivación + perdidas macroeconómicas)?
- Cuales son las **intervenciones mas robustas (Análisis Costo – Beneficio)** para reducir la vulnerabilidad de los segmentos críticos al futuro cambio climático?
- **Donde se encuentran y cuales son los lugares prioritarios de intervención** en función de los beneficios esperados por la implementación de medidas de adaptación?

# Objetivos

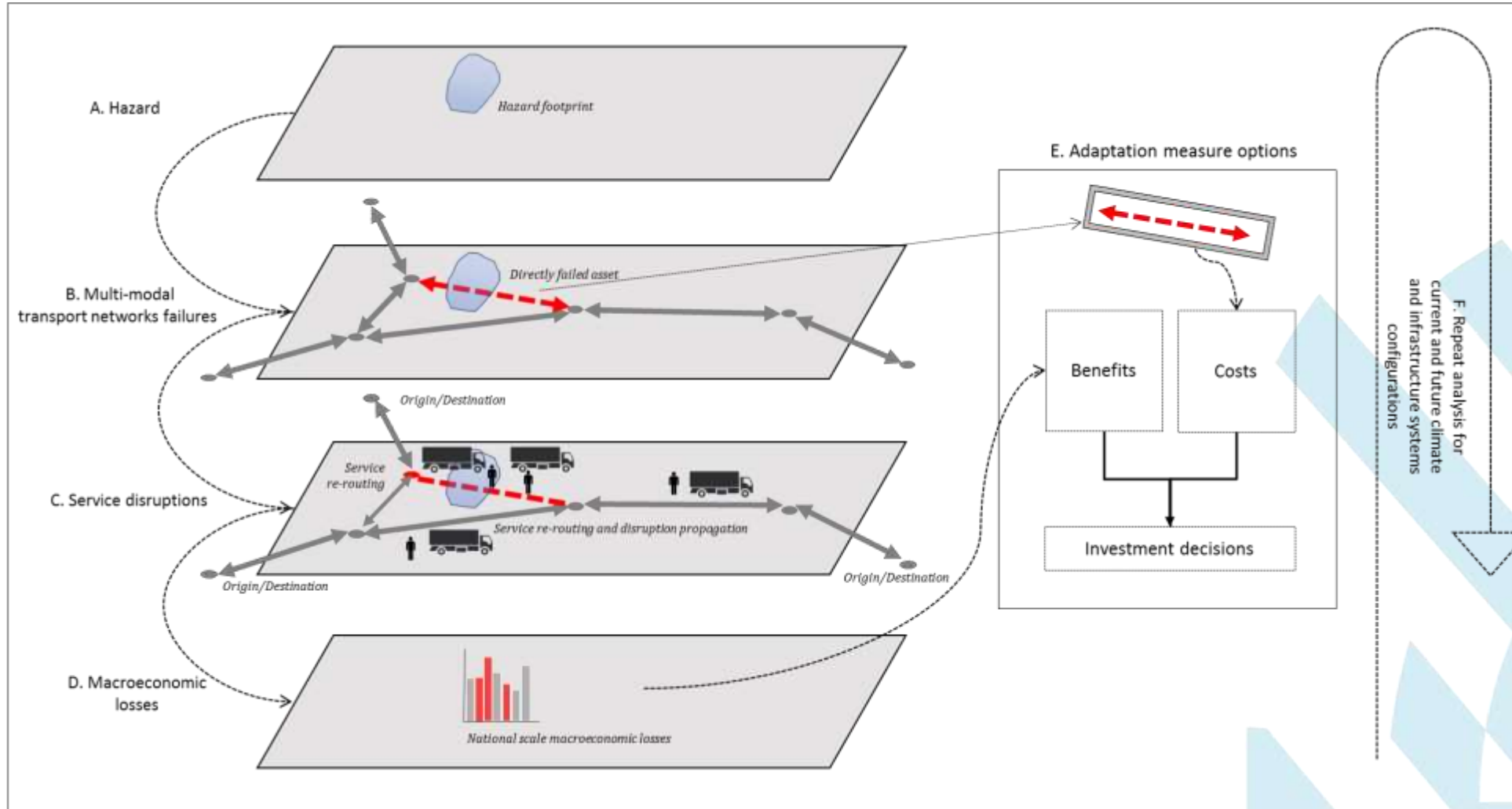
---

- Crear un modelo geoespacial multiescalar de flujo de red para **representar la infraestructura de transporte multimodal** en argentina.
- Evaluar el **potencial impacto económico de la disrupción** de la red por desastres naturales.
- Crear **métricas críticas de la red** para sistematizar el análisis de fallas
- Realizar exhaustivas **simulaciones basadas en diferentes escenarios** para reducir la incertidumbre relacionada a amenazas naturales y decisiones de inversión.



# Metodología

## Sistema de Sistemas anidados (SoS – Systems of Systems)

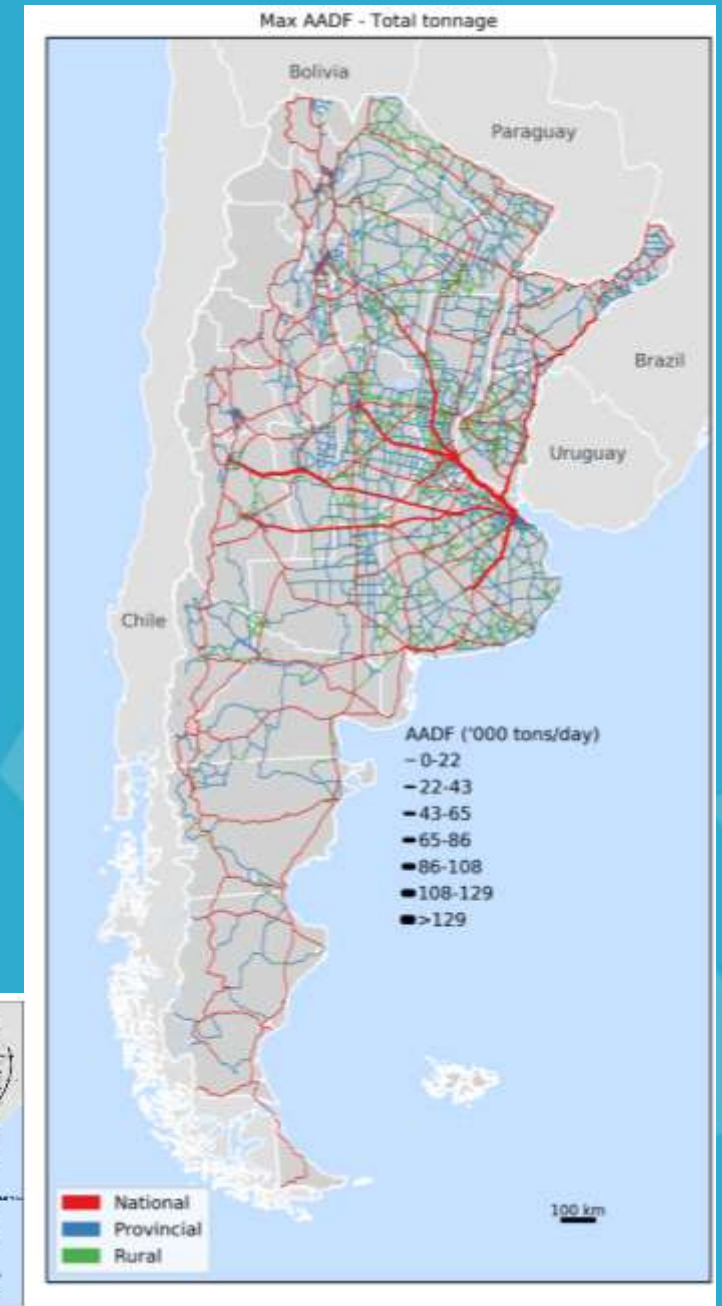




## Representación grafica de la implementación de procesos en la infraestructura de ATRA

# Representación y Jerarquización de la Red

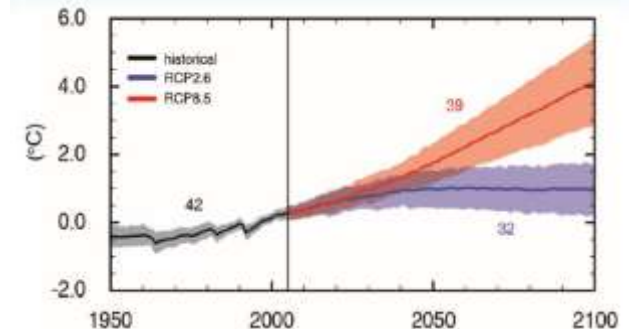
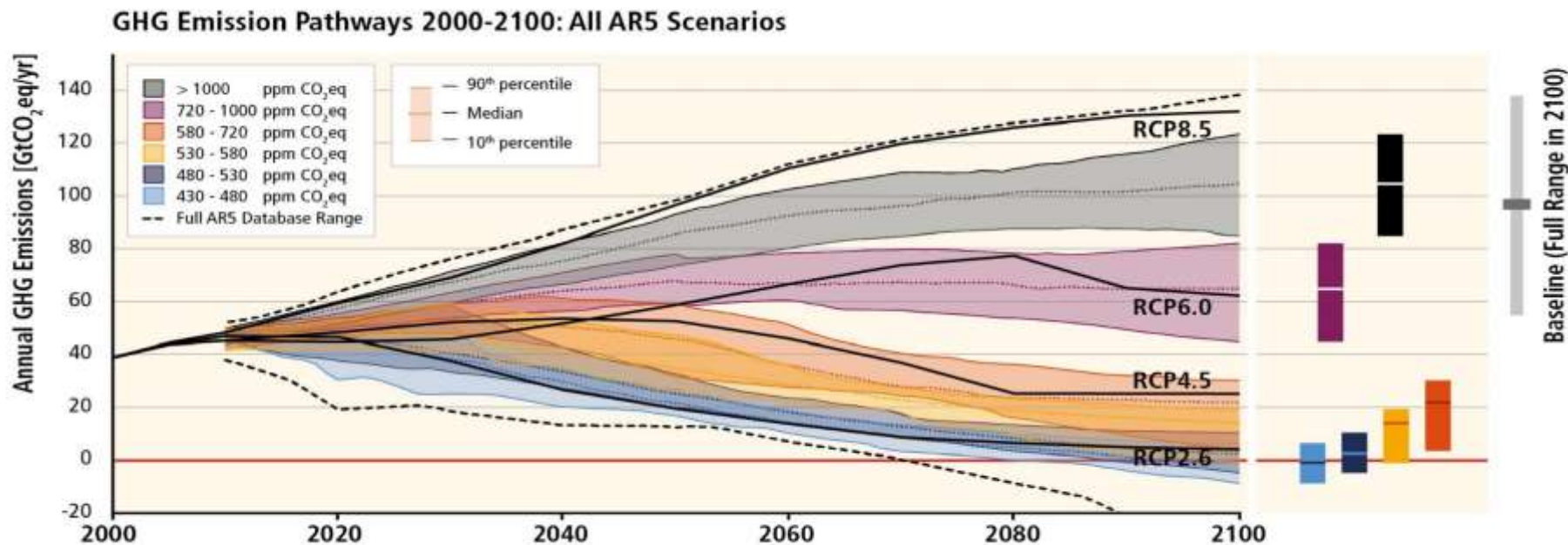
- Tiene en cuenta la carga transportada en función del TMDA ('000Ton.\Dia) como indicador de importancia económica
- Considera caminos de orden **Nacional, Provincial y Rural**
- Tiene en cuenta **Puentes de la Red Nacional**
- Considera también las fallas en las redes de transporte **Fluvial, Marítimo, Ferroviario, Aéreo** y conexiones entre cada modo de transporte
- Define Falla como: condición donde una red, nodo o conexión, no puede proveer movilidad por encontrarse expuesta a una cota de inundación **mayor a 50 cm** sobre el nivel del terreno.



# Representación de la Amenaza

## Trayectorias de Concentraciones Representativas

- Son **trayectorias esperadas** de concentración de gases de efecto invernadero (**GEI**) basadas en modelos con determinados **Supuestos Socioeconómicos**. Se utilizan para poder inferir un futuro climático considerando determinadas acciones, estrategias o políticas.
- Fueron publicadas como posibles escenarios futuros por el Panel Inter gubernamental para el Cambio Climático (IPCC) en su quinto informe (AR5, 2014)
- ATRA tiene en cuenta, para la modelización climática los **escenarios RCP 8.5 (Business as Usual) y RCP 4.5** (Las emisiones decrecen después del año 2040 por esfuerzos de mitigación de GEI)

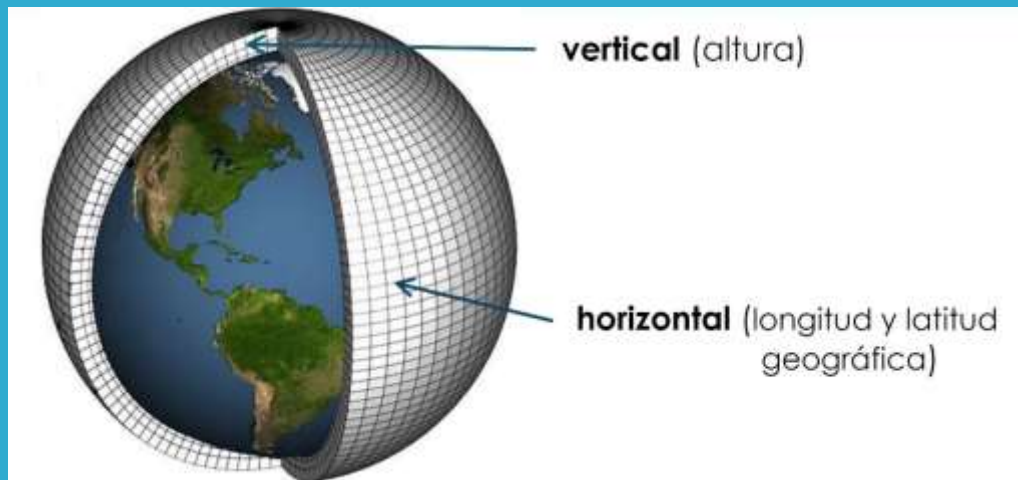




# Representación de la Amenaza

## Construcción de las proyecciones climáticas

- Los Modelos Climáticos Globales **discretizan la atmósfera** vertical y horizontalmente
- ATRA Considera para las proyecciones climáticas **32 Modelos Climáticos Globales**



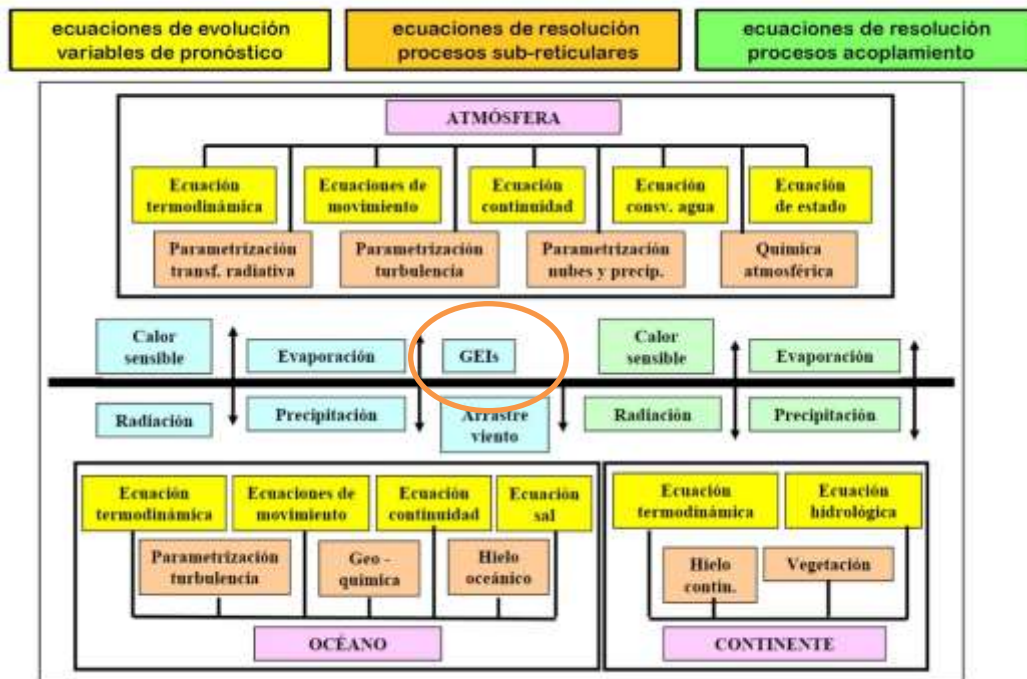
- Cambio climático: es una importante **variación estadística en el estado medio del clima** o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o siglos)



# Representación de la Amenaza

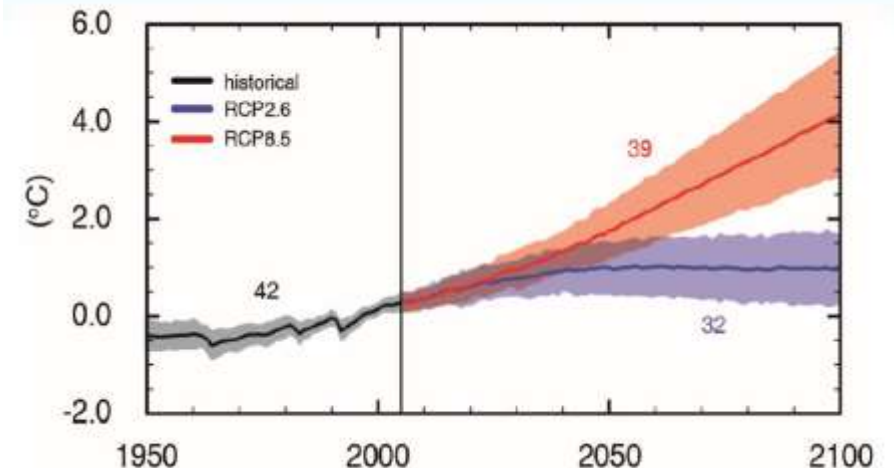
## Construcción de las Proyecciones Climáticas

- Integran complejos sistemas de ecuaciones para cada compartimiento del sistema climático, considerando “forzantes radiativos” naturales y antropogénicos (GEI), y el trabajo realizado por el sistema por recuperar el equilibrio.



- Ej. Simplificación Modelos Climáticos Globales

- Proyectan el comportamiento climático a futuro y en función de el, infieren probabilísticamente sobre la **fuerza y recurrencia de fenómenos meteorológicos extremos**.



# Representación de la Amenaza

## Construcción de las proyecciones climáticas

- ATRA Integra un Modelo de Elevación Digital (DEM) y los resultados de los 32 GCM sobre precipitaciones extremas, y simula áreas de inundación en el terreno a través del Modelo **Fathom-Global**
- ATRA Utiliza **Periodos de Recurrencia** de 5, 10, 20, 50, 74, 100, 200, 250, 500 y 1000 años
- ATRA Considera como Horizonte temporal el **año 2050**. Puede actualizarse modificando sus inputs para **mantenerlo actualizado**
- El modelo **Fathom-Global** combina un análisis de frecuencia de inundaciones realizado a escala global, con un modelo hidráulico 2D

# Representación de la Amenaza

## Escenarios

### Línea de Base

- Se basa en los registros históricos de precipitaciones dados entre los años
- 1986-2005

### Futuro Medio

- Mediana (Percentil 50) de los cambios modelados para el año 2050, en los 5 días de máxima precipitación
- Registra un cambio de +6%

### Futuro Alto

- Percentil 90 de los cambios modelados para año 2050 en los 5 días de máxima precipitación
- Registra un cambio de +12%

- ATRA Utiliza dos modelos de inundación que suponen diferentes escenarios: **Pluvial** (Precipitaciones) y **Fluvial** (Desborde de cursos de agua) (Metodología FATHOM) (Resolución de 90 Metros)



- Ej. de output hidráulico para 1/1000 años de recurrencia



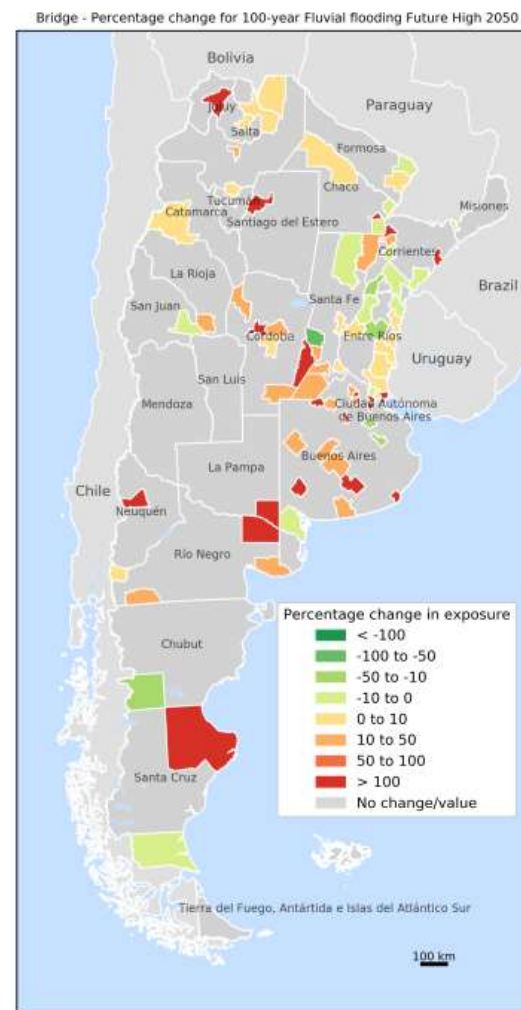
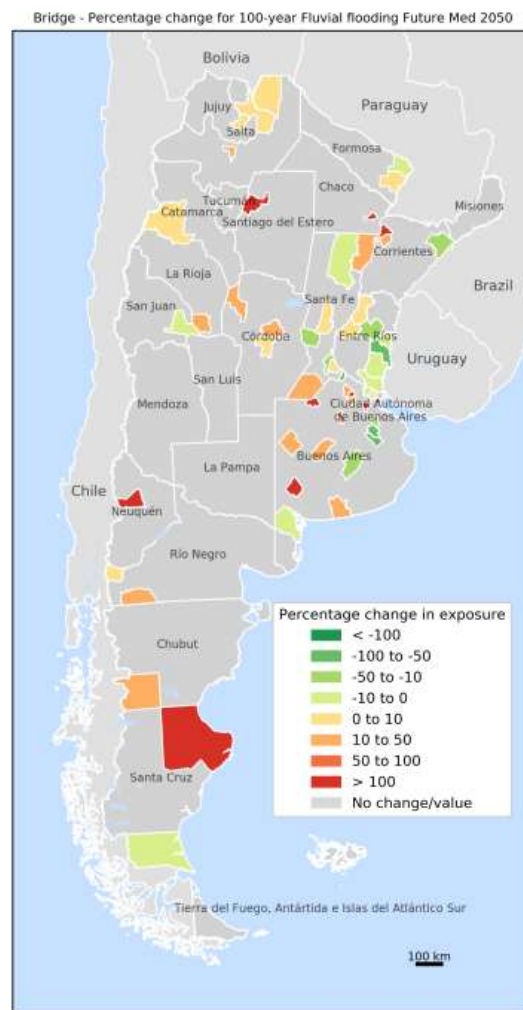
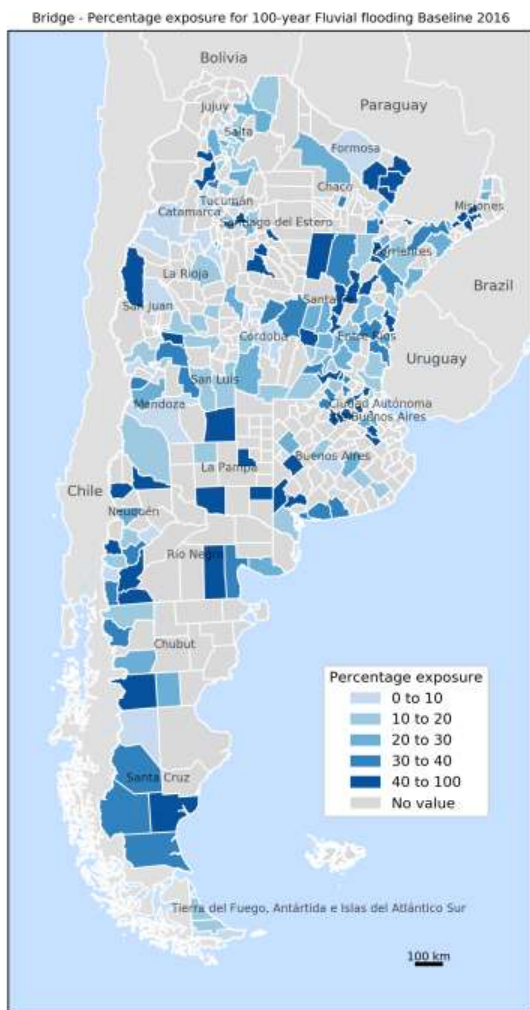
# Representación de la Amenaza

## Escenarios



# Exposicion

Cantidad de Km. Y Puentes con diferentes probabilidades de superposición con cotas de inundación mayores a 50cm sobre el terreno



- Puentes y Rutas nacionales  
Expuestas actualmente y en el futuro con una probabilidad de recurrencia de 1/100 años de inundaciones fluviales superiores a 50Cm de profundidad.

# Exposicion

## Resumen de Exposición de la infraestructura de red vial

Return period (years)	Fluvial flooding					Pluvial flooding				
	Base line	Future Median	% change	Future High	% change	Base line	Future Median	% change	Future High	% change
Roads – Exposure Lengths in kilometres										
1000	22,430	23,080	2.90%	24,328	8.46%	23,001	25,065	8.97%	26,973	17.27%
100	12,508	13,202	5.55%	13,955	11.57%	10,202	11,270	10.47%	12,273	20.30%
5	3,161	3,502	10.81%	3,735	18.17%	1,829	2,008	9.78%	2,178	19.09%

National-roads bridges – Exposure numbers of bridges										
1000	818	817	-0.12%	861	5.26%	1,188	1,206	1.52%	1,261	6.14%
100	595	608	2.18%	657	10.42%	805	865	7.45%	907	12.67%
5	213	238	11.74%	252	18.31%	248	267	7.66%	280	12.90%

- El **mayor incremento en la exposición** para amenazas pluviales y fluviales registrado en escenarios futuros se distribuye **en periodos de recurrencia menores a 100 años**, valores en los que se vería comprometida buena parte de la infraestructura vial según las proyecciones climáticas calculadas y el actual estado en el diseño.

# Impacto

Las consecuencias de la falla de la red vial fueron estimadas analizando las interrupciones en el transporte de carga (Ton/Dia) (Metricas Criticas)

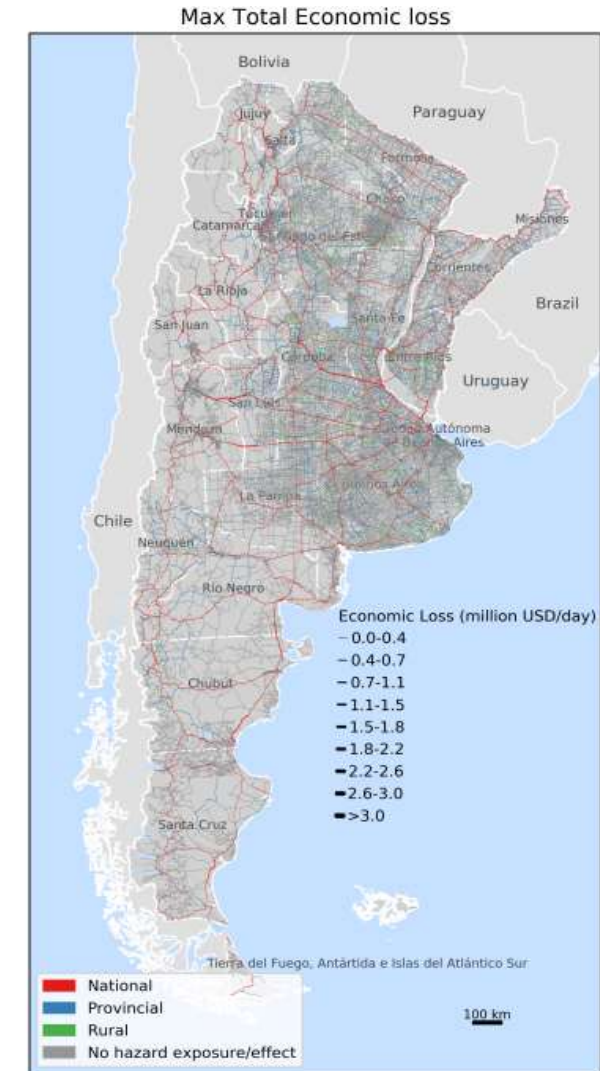
Los impactos de las fallas de la red vial fueron medidos en términos económicos (US\$/Dia) sumando:

- Costos derivados de la re derivación del transporte de carga (Perdidas por re derivación)



- Perdidas Macroeconómicas debido a interrupciones sin opciones de derivación en la red que evitan que la carga llegue a destino

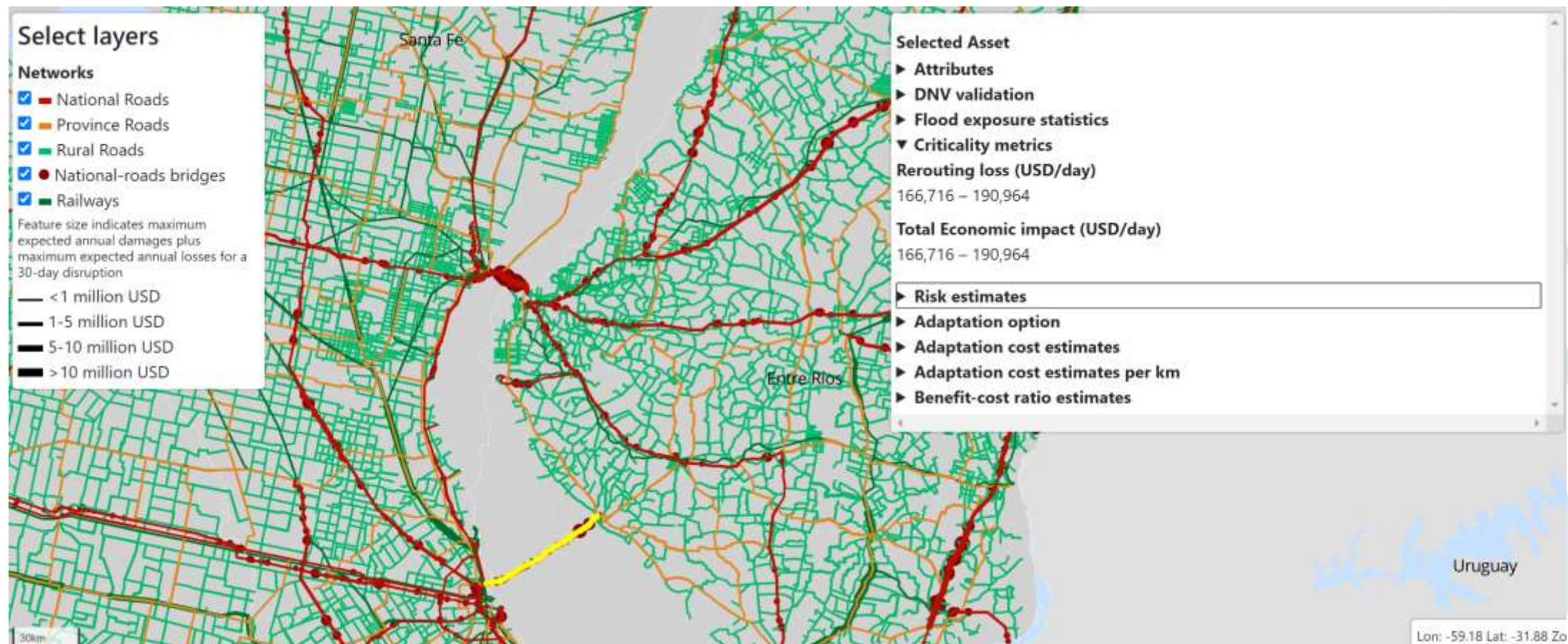
Las perdidas macroeconómicas fueron evaluadas con un modelo regional Input-Output (MRIO) que considero 23 provincias y 16 sectores industriales que conforman la economía nacional





# Impacto

## Ruta Nacional 174 - Conexión Rosario – Victoria – Output: Critically Metrics



## 5 Rutas con mayor impacto

11/11/2016

1

# Riesgo

Se expresa en Millones de US\$ de pérdida económica debido a “X” días en la interrupción en el transporte de carga en un determinado tramo

Los Riesgos de Pérdida económica de la red vial se calculan:

- **Daños Anuales Esperados (DAE):** Probabilidad de ocurrencia de la amenaza + Longitud del tramo expuesto + Costos de Rehabilitación
- **Perdidas Económicas Anuales Esperadas (PEAE):** Probabilidad de ocurrencia de la amenaza + Impactos Económicos (US\$/Día) + Días de duración de la Interrupción en el transporte de carga

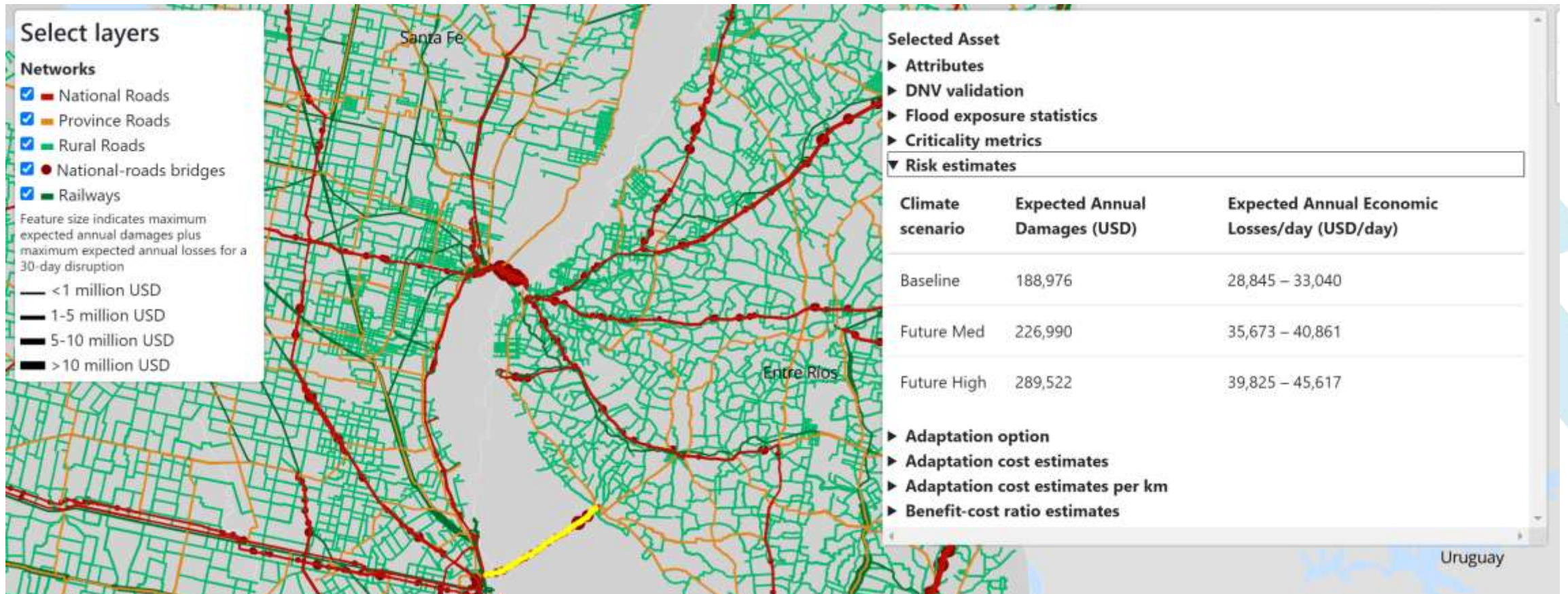


Distribución Espacial de los riesgos en el escenario de Línea de Base considerando una interrupción de 10 Días



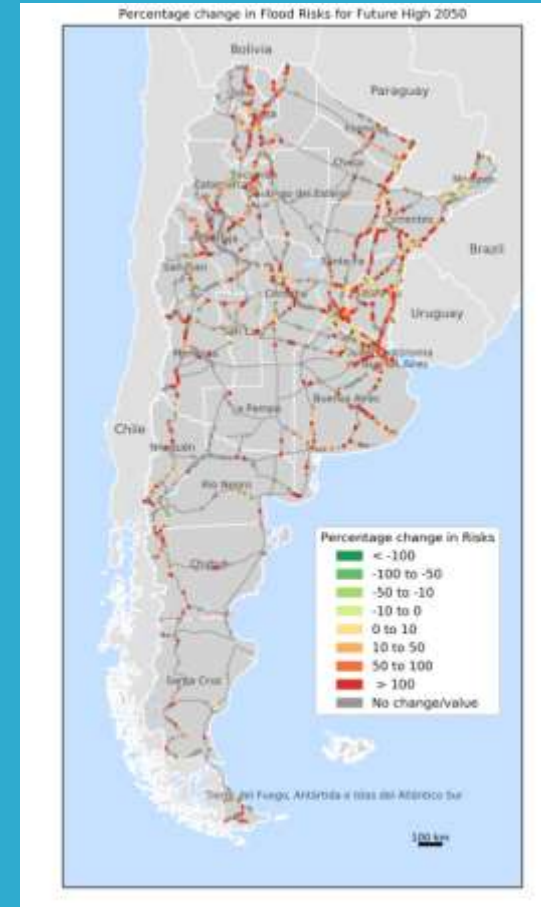
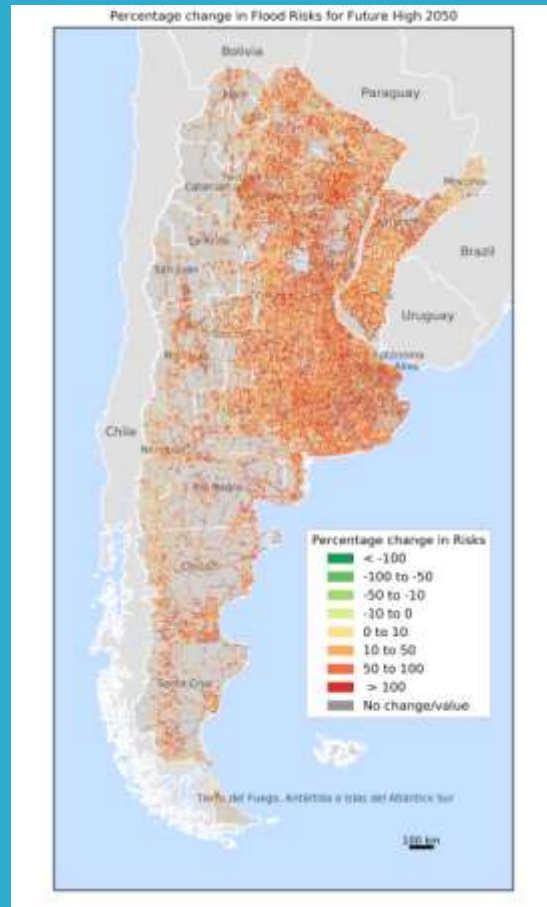
# Riesgo

## Ruta Nacional 174 – Conexión Rosario – Victoria – Output: Risk



# Riesgo

Distribucion espacial del aumento de riesgos asumiendo una disrupción en el transporte de cargas de 10 Días en un Escenario “Futuro Alto”



# Riesgo

## 5 Rutas con mayores niveles de riesgo de pérdidas económicas por efecto del Cambio Climático

Roads – Total Risks $\geq$ 2.0 million US\$							
Road name	Road type	Province name	Baseline	Future Med	% change	Future High	% change
0051	National	Salta	3.8	4.0	4.8%	4.2	8.2%
0012	National	Buenos Aires	2.7	2.9	8.0%	2.9	6.4%
		Entre Ríos					
4	Province	Catamarca	2.4	2.5	3.1%	2.5	4.1%
0040	National	Chubut	2.4	2.4	0.0%	2.5	7.5%
		Río Negro					
0060	National	La Rioja	2.1	2.2	2.7%	2.2	3.5%
		Catamarca					
0168,168	National	Santa Fe	2.0	2.2	13.4%	2.2	13.8%
0143,0188	National	San Luis	1.9	2.0	1.5%	2.0	4.5%
		Mendoza					
0007	National	Mendoza	1.8	1.9	6.4%	2.0	8.6%



# Adaptación

## Costo de actualizar infraestructura vial existente a estándares de resiliencia al Cambio Climático (US\$/Km.)

- Las opciones de adaptación consideradas en ATRA, buscan mejorar la fiabilidad de la infraestructura vial para hacerla **resiliente a los impactos del Cambio Climático**
- Los costos de medidas de adaptación se sustenta en la base de datos del Banco Mundial **ROCKS** (Road Cost Knowledge System)
- Las costos de las medidas se clasifican por el tipo de infraestructura a construir en relación con la cantidad de carriles (2L, 3L y 4L) y el tipo de técnica constructiva (Concreto o Bituminoso), y están calculados en base a diferentes proyectos construidos

Climate resilient option type	Description of options	Number of projects	Cost/km (10 <sup>6</sup> US\$)	Increased Cost/km due to climate change (10 <sup>6</sup> US\$)	% increase due to climate change	Climate resilient design Cost/km (10 <sup>6</sup> US\$)	Design road width (m)
<b>Road costs</b>							
Initial investment	Upgrading to climate-resilient Bituminous 2L	26	1.11	0.18	16.0%	1.29	7.3
	Upgrading to climate-resilient Concrete 2L	4	1.32	0.21	16.0%	1.53	7.3
	Upgrading to climate-resilient Concrete 4L	11	3.03	0.55	18.0%	3.58	14.6
Routine maintenance	CREMA: Rehabilitation and Routine Maintenance	11	0.270	0.024	9.0%	0.294	7.3
Periodic maintenance	Asphalt Mix Resurfacing / Surface Treatment Resurfacing	9	0.322	0.026	8.0%	0.346	7.3
Reconstruction	Reconstruction	19	0.782	0.122	15.6%	0.904	7.3
<b>National-roads bridge costs (derived from road costs)</b>							
Initial investment	Upgrading to climate-resilient bridge	-	-	-	-	3.58*	-
Routine maintenance	CREMA: Rehabilitation and Routine Maintenance	-	-	-	-	0.294	7.3
Periodic maintenance	Asphalt Mix Resurfacing / Surface Treatment Resurfacing	-	-	-	-	0.346	7.3
Reconstruction	Reconstruction	-	-	-	-	0.904*	-

# Adaptación

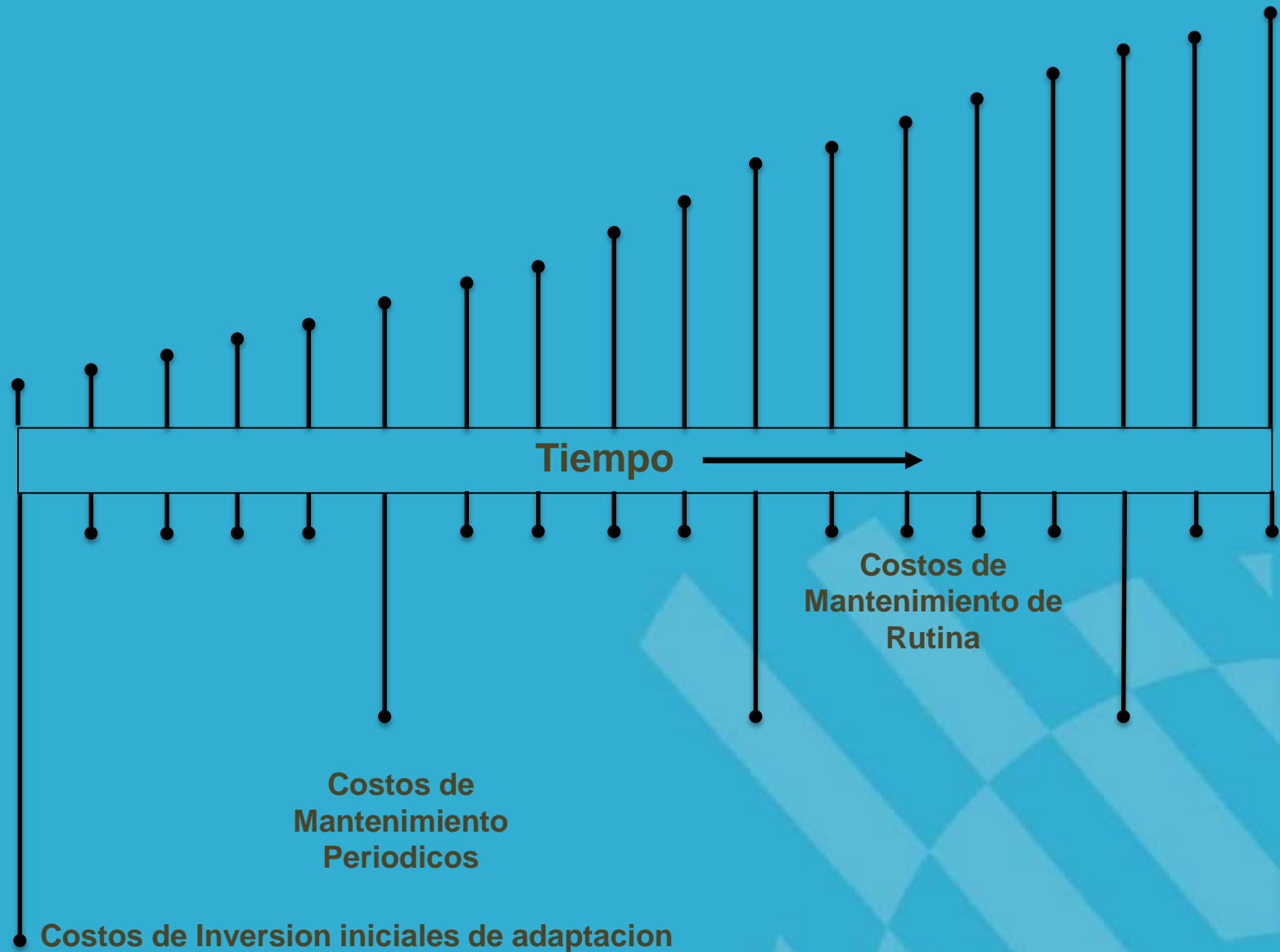
## Métricas de Adaptación

**Beneficios** de evitar pérdidas en términos de:

- DAE (Daños Anuales Esperados)
- PEAE (Pérdida Económica Anual Esperada)

**Costos** de Opciones de Adaptación

- Costo de inversión inicial de las medidas de adaptación
- Costos de Mantenimiento (De Rutina y Periódico)

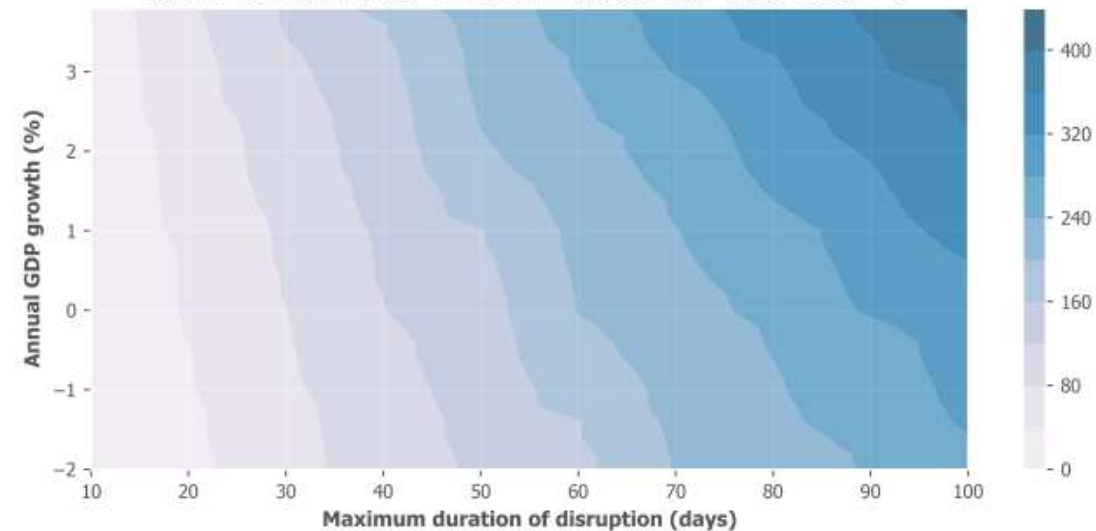


# Analisis Beneficio/Costo

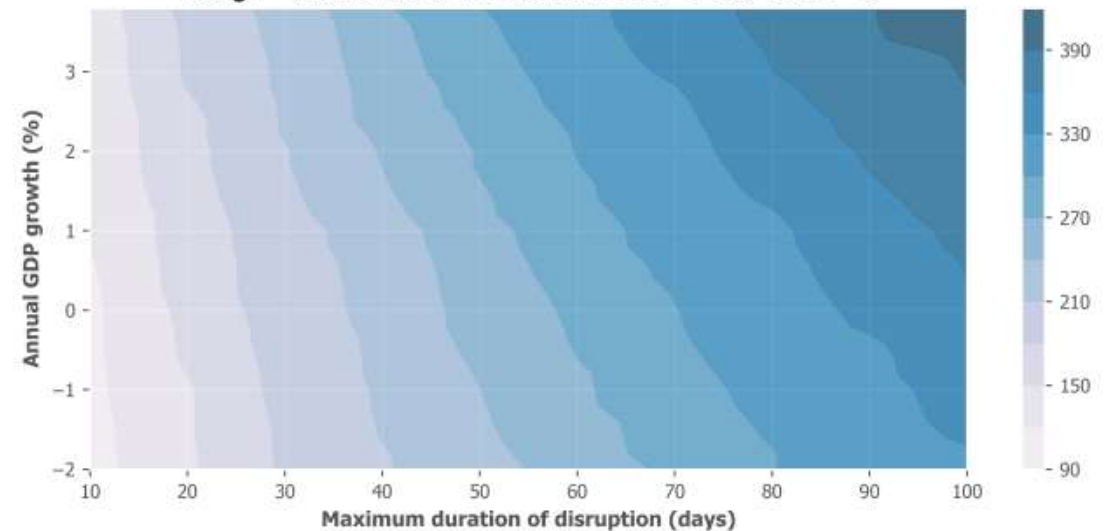
Relación del Crecimiento del PBI y los Días de Disrupción del transporte de carga en función de la cantidad de kilómetros y puentes de la red nacional, donde la relación Beneficio/Costo > 1



Road - Kilometers of roads for which Min.- Max. BCR > 1



Bridge - Numbers of assets with Min.- Max. BCR > 1

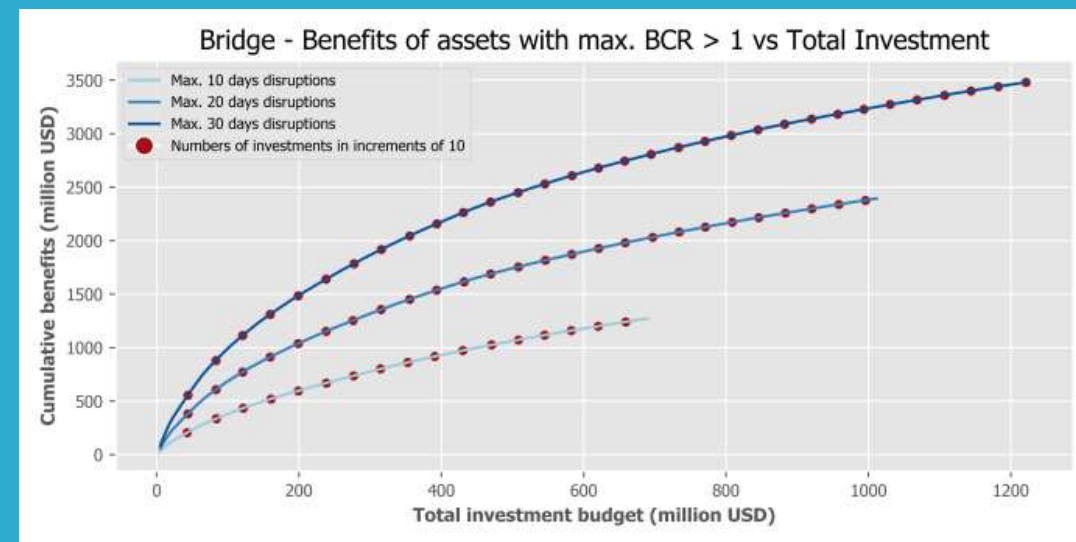
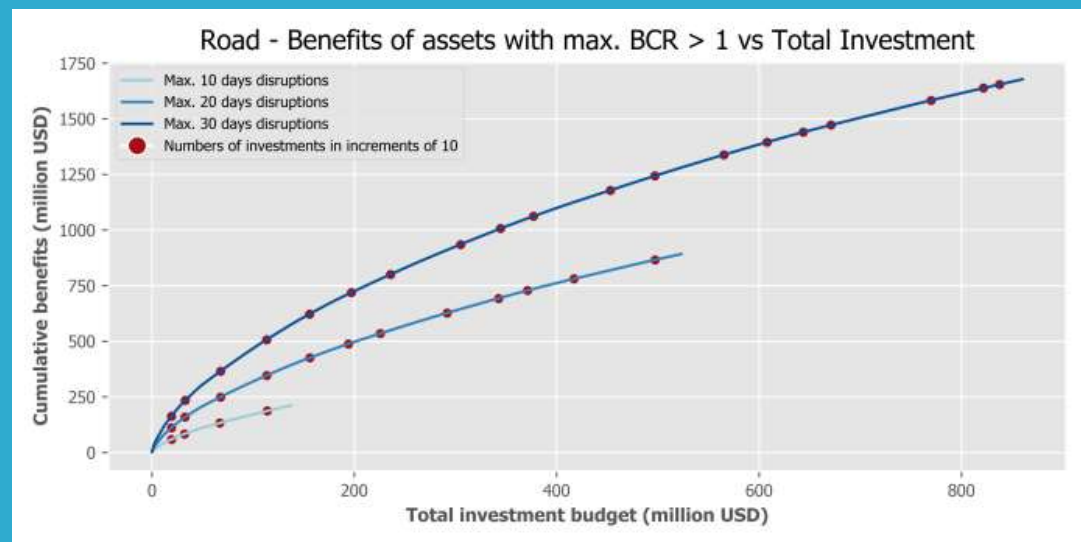


## Variables parametrizables del ABC

- Días de duración de las interrupciones (10 a 100 días)
- Tasa de crecimiento del PBI (-2% a +3.8%)

# Analisis Beneficio/Costo

Teniendo en cuenta los costos de las diferentes opciones de adaptación y comparándolas con los riesgos calculados, se estimaron las relaciones Beneficio/Costo a lo largo de todos los escenarios climáticos para cada disrupción en la red.

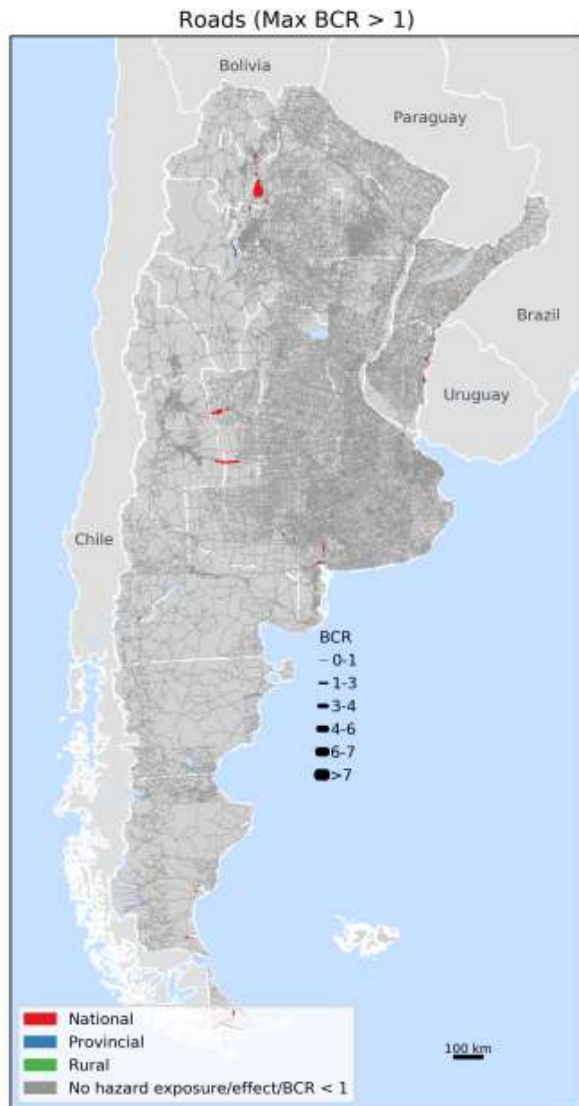


**Relacion de los beneficios acumulados en función del total invertido en adaptación (Millones US\$)**



# Analisis Beneficio/Costo

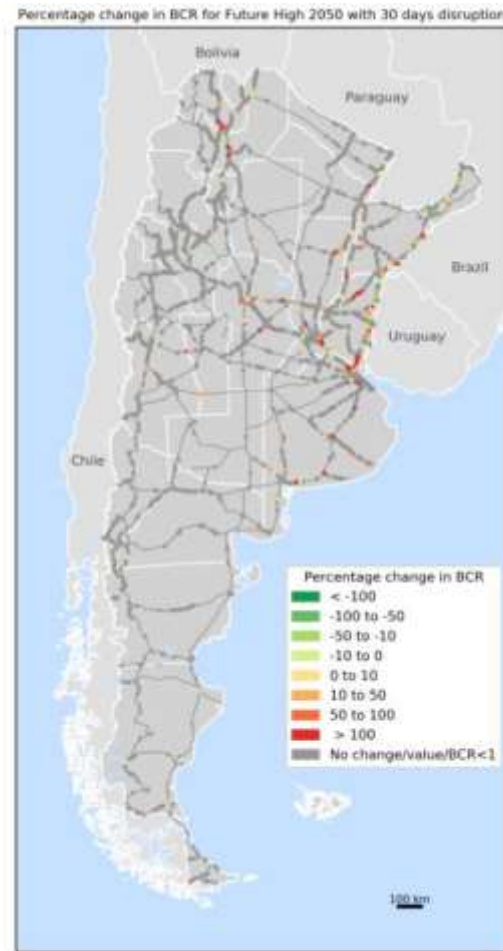
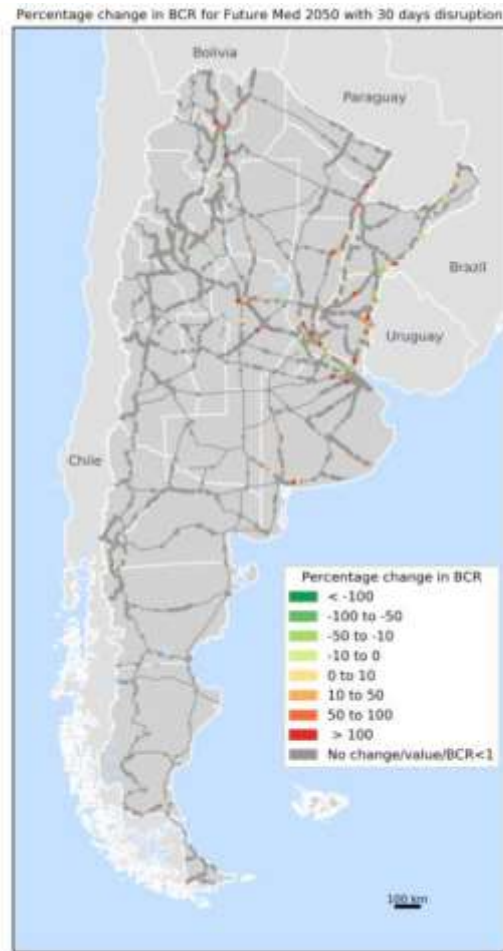
Distribucion espacial de la relación Beneficio/Costo > 1 para Rutas y Puentes (de la red nacional)



- Se Asume:  
Máximos Días de Disrrupcion: 10  
Crecimiento del PBI: +2.8  
Tasa de Descuento: 12%

# Analisis Beneficio/Costo

Distribucion espacial de los incrementos en el porcentaje de la relación Beneficio/Costo para Rutas del escenario de línea de base respecto los de Futuro Mediano y Futuro Alto



- Se Asume:  
Máximos Días de Disrupcion: 10  
Crecimiento del PBI: +2.8  
Tasa de Descuento 12%

# Analisis Beneficio/Costo

5 Rutas y Puentes con mayor valor en su relación Costo beneficio

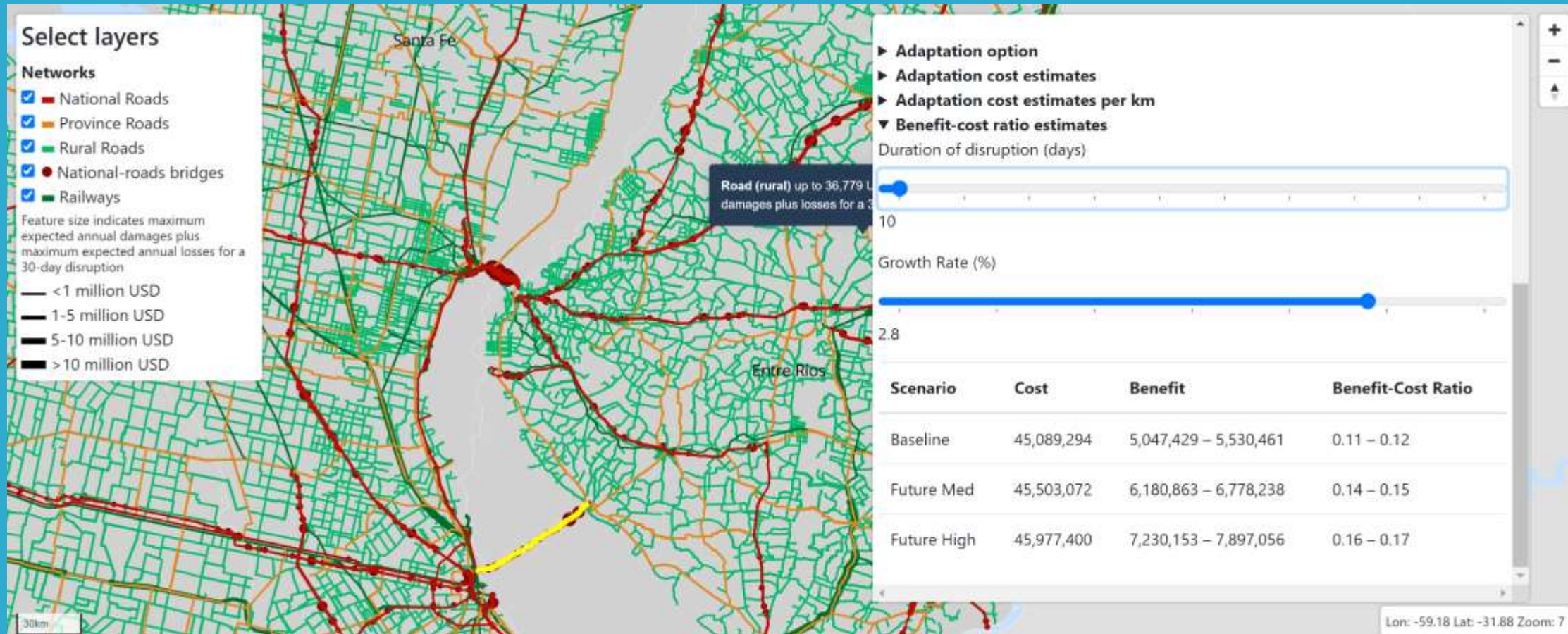
Road name	Province name	Existing Surface	Width (m)	Adaptation options (Upgrading to climate resilient)	Max exposure length (m)	NPVs in US\$				BCR	
						Initial investments	Total investments over 35 years	Benefits over 35 years			
								Min	Max	Min	Max
0009,0034	Salta	Asfalto	10.5	Bituminous 3L	34.6	64,147	209,515	1,422,156	1,510,614	6.8	7.2
		Asfalto	10.5	Bituminous 3L	142.0	263,171	859,555	5,257,161	5,584,158	6.1	6.5
		Asfalto	10.5	Bituminous 3L	165.2	306,268	1,000,316	5,424,222	5,761,611	5.4	5.8
		Asfalto	10.5	Bituminous 3L	115.1	213,318	696,728	2,407,900	2,559,682	3.5	3.7
		Asfalto	10.5	Bituminous 3L	92.3	171,150	559,001	1,897,206	2,015,214	3.4	3.6
		Asfalto	10.5	Bituminous 3L	180.1	333,866	1,090,455	3,194,043	3,395,379	2.9	3.1
0007,15	San Luis	Hormigon	14.6	Concrete 4L	706.5	2,527,617	6,654,654	19,224,925	19,327,955	2.9	2.9
0009,0034	Salta	Asfalto	10.5	Bituminous 3L	126.1	233,811	763,663	2,001,790	2,126,303	2.6	2.8
168	Entre Ríos	Asfalto	15	Bituminous > 4L	748.7	1,982,711	6,475,832	12,684,998	14,906,499	2.0	2.3
0009,0034	Salta	Asfalto	10.5	Bituminous 3L	140.1	259,704	848,232	1,783,670	1,896,103	2.1	2.2

Road name	Structure type	Province name	Width (m)	Max exposure length (m)	NPVs in US\$				BCR	
					Initial investment	Total investment over 35 years	Benefits over 35 years			
							Min	Max	Min	Max
9		Salta	9.4	30.0		3,690,427	22,417,670	23,695,872	6.1	6.4
12		Entre Ríos	10.1	344.1		4,968,037	29,915,693	31,617,187	6.0	6.4
9		Jujuy	10.8	59.6		3,834,969	20,816,314	23,022,719	5.4	6.0
12		Entre Ríos	10.1	564.1		5,856,937	29,915,693	31,617,187	5.1	5.4
		Buenos Aires	13.4	8.0		3,620,441	15,700,524	16,551,271	4.3	4.6
14		Entre Ríos	8.4	209.6		4,282,180	16,313,116	16,968,534	3.8	4.0
			8.3	209.6		4,273,793	16,268,106	16,923,523	3.8	4.0



# Analisis Beneficio/Costo

Ruta Nacional 174 – Conexión Rosario – Victoria – Output: ABC



# Limitaciones del Modelo

---

- Falta de **información topológica** para la representación de la infraestructura con todos sus atributos
- Inadecuada **asignación de costos de transporte** en determinadas zonas e importantes centros
- Información de **flujos macroeconómicos desactualizada** para modelar la estructura del país y las economías regionales
- Información sobre **Estacionalidad** en los niveles de amenazas y flujo de transporte
- Información sobre **Capacidad de Respuesta**

# Conclusiones

---

- Se ha desarrollado, y se encuentra en proceso de implementación, prueba y ajuste, en la DNV, un modelo exhaustivo, acorde al estado del arte, para comprender las características espaciales de la red vial en función de las amenazas en materia de inundación relacionadas al Cambio Climático con Horizonte temporal en el año 2050
- Se ha desarrollado evidencia científica para analizar sistemáticamente los riesgos presentes y futuros asociados a la red de transporte
- Se ha desarrollado evidencia científica sobre la priorización en la reducción del riesgo e implementación de medidas de adaptación.
- Se ha dispuesto a disposición y en código abierto los recursos de desarrollo del modelo

# Miscelaneas

---

- Detalles de toda la información provista en esta presentación se encuentra documentada en el reporte: *"Pant, R., Koks, E.E., Paltan, H., Russell, T., & Hall, J.W. (2019). Argentina – Transport risk analysis. Final Report, Oxford Infrastructure Analytics Ltd., Oxford, UK."*
- El modelo entero y su código base fueron desarrollados en código Python y se proveyó explicado para su actualización y mejoramiento.
- Toda la información provista ha sido compartida con el equipo del Banco Mundial



**Gracias**



