Informe de modos de fallo

Apoyo al Programa de Conectividad Chaco-Corrientes: Nuevo Puente sobre el Río Paraná en Argentina

Junio de 2023

iPresas Risk Analysis
Plaza Semana Santa Marinera 2, 3º pta. 3
46011 – Valencia
Tel.: (+34) 960 083 245
www.ipresas.com

ÍNDICE DEL DOCUMENTO

1. Introducción 8
2. Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático (MERDCC) 11
3. Revisión de información 12
3.1. Contexto 12
3.2. Diseño 13
3.3. Topografía, geología y geotecnia 14
3.4. Cálculo estructural 17
3.5. Hidrología e hidráulica 18
3.6. Estabilidad relativa del río 22
3.7. Impacto ambiental 24
3.8. Gestión de emergencias 26
4. Visita técnica 27
4.1. Corrientes 27
4.2. Resistencia 30
5. Identificación individual de modos de fallo 34
6. Identificación grupal de modos de fallo 35
6.1. MF1: Gran crecida y rotura por empuje 36
6.2. MF2: Crecida, erosión del terraplén y reparación 37
6.3. MF3: Crecida, saturación del terraplén y reparación 38
6.4. MF4: Crecida durante la construcción y pérdida de equipamientos 39
6.5. MF5: Erosión en las pilas y fallo del puente 40
6.6. MF6: Erosión del estribo, descalce y fallo del puente 41
6.7. MF7: Precipitación, drenaje inadecuado e inundaciones 43
6.8. MF8: Fallo de defensas, drenaje inadecuado e inundaciones 44
6.9. MF9: Crecida, drenaje inadecuado, sobrepaso dique sur e inundaciones 46
6.10. MF10: Falsa sensación de seguridad, aumento de población y mayores consecuencias 48
6.11. MF11: Colisión vehículo, rotura de obenque y reparación 49
6.12. MF12: Viento extremo, rotura obenque y reparación 50
6.13. MF13: Choque barcaza, rotura pila y fallo del puente 51
6.14. MF14: Accidente, corte del puente, sobrecarga y fallo del puente 52
6.15. MF15: Choque camiones y vertidos al río 53

6.16. MF16: Conflictos sociales 54
6.17. MF17: Choque barcaza y vertidos al río 55
6.18. MF18: Modificación del drenaje natural e impactos ambientales 56
6.19. MF19: Falta de pasos de fauna y atropellos 57
6.20. MF20: Incendio, generación de humos y cierre de vías 58
6.21. MF21: Cambios en la sedimentación e impedimento de tráfico fluvial 59
7. Clasificación de modos de fallo 60
8. Recomendaciones y propuestas de acción 63
9. Conclusiones 67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Participantes del taller. 10

Tabla 3.1. Elementos del trazado del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto. 14

Tabla 3.2. Cambios en el cauce entre 1992 y 2015. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016). 23

Tabla 6.1. Descripción del Modo de Fallo 1. 36

Tabla 6.2. Descripción del Modo de Fallo 2. 37

Tabla 6.3. Descripción del Modo de Fallo 3. 38

Tabla 6.4. Descripción del Modo de Fallo 4. 39

Tabla 6.5. Descripción del Modo de Fallo 5. 40

Tabla 6.6. Descripción del Modo de Fallo 6. 42

Tabla 6.7. Descripción del Modo de Fallo 7. 43

Tabla 6.8. Descripción del Modo de Fallo 8. 45

Tabla 6.9. Descripción del Modo de Fallo 9. 47

Tabla 6.10. Descripción del Modo de Fallo 10. 48

Tabla 6.11. Descripción del Modo de Fallo 11. 49

Tabla 6.12. Descripción del Modo de Fallo 12. 50

Tabla 6.13. Descripción del Modo de Fallo 13. 51

Tabla 6.14. Descripción del Modo de Fallo 14. 52

Tabla 6.15. Descripción del Modo de Fallo 15. 53

Tabla 6.16. Descripción del Modo de Fallo 16. 54

Tabla 6.17. Descripción del Modo de Fallo 17. 55

Tabla 6.18. Descripción del Modo de Fallo 18. 56

Tabla 6.19. Descripción del Modo de Fallo 19. 57

Tabla 6.20. Descripción del Modo de Fallo 20. 58

Tabla 6.21. Descripción del Modo de Fallo 21. 59

Tabla 7.1. Clasificación de los modos de fallo. 61

Tabla 8.1. Resumen medidas propuestas. 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Productos de la consultoría. 8
Figura 1.2. Etapas del proceso de identificación de modos de fallo. 9
Figura 2.1. Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático (BID, 2019). 11
Figura 3.1. Distribución de las obras planteadas. 13
Figura 3.2. Render del puente proyectado. 13
Figura 3.3. Perfil longitudinal del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto. 13
Figura 3.4. Visión en planta del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto. 14
Figura 3.5. Área relevada y topobatimetría. Fuente: Capítulo Nº2 del Anteproyecto. 15
Figura 3.6. Mapa geológico. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto. 15
Figura 3.7. Mapa geomorfológico. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto. 15
Figura 3.8. Ubicación investigación geotécnica. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto. 16
Figura 3.9. Perfil estratigráfico en el tramo del puente principal. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 17
Figura 3.10. Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: (INPRES, 2023). 17
Figura 3.11. Vista del puente en el software. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto. 18
Figura 3.12. Resultados del análisis estadístico. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 19
Figura 3.13. Hidrogramas asociados a 1,000 años de periodo de retorno para una crecida de larga duración (izquierda) y corta duración (derecha). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 19
Figura 3.14. Campo de velocidades para Tr= 50 años (izquierda) y Tr= 100 años (derecha). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 20
Figura 3.15. Caudales de entrada a las alcantarillas. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 20
Figura 3.16. Delimitación de las cuencas menores. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 21
Figura 3.17. Hidrograma de la CMP en Asunción y Posadas (izq.) y transitados en distintas localidades (dcha.). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 22
Figura 3.18. Evolución del curso del río Paraná. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016). 23
Figura 3.19. Efectos de la erosión general y local para Tr= 1,000 años. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto. 24
Figura 3.20. Área afectada por cada traza de humedales (izquierda) y zona Ramsar (derecha). Fuente: Capítulo Nº13 del Anteproyecto. 25
Figura 3.21. Plan de desarrollo urbano previsto en la ciudad de Resistencia. Fuente: (SIT, 2023). 25
Figura 3.22. Plan de desarrollo urbano previsto en la ciudad de Corrientes. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016). 26
Figura 4.1. Fotografía de algunos integrantes de la visita técnica. 27
Figura 4.2. Recorrido realizado durante la visita a Corrientes. 28

Figura 4.3. Cruce el Riachuelo con la ruta nacional 12 - Punto 2. Vista desde aguas arriba (izq.) y aguas abajo (dcha.)..... 28

Figura 4.4. Asentamientos informales en el sitio de la traza del puente - Punto 4..... 29

Figura 4.5. Aproximación al Riachuelo desde el barrio de La Esperanza (izq.) y vista del Riachuelo (dcha.) - Punto 5. 29

Figura 4.6. Parque industrial de Santa Catalina - Punto 6. 29

Figura 4.7. Vista desde la orilla del río Paraná hacia aguas abajo (izq.) y aguas arriba (dcha.) - Punto 7..... 30

Figura 4.8. Recorrido realizado durante la visita a Resistencia..... 30

Figura 4.9. Vista del terraplén de defensa y poblaciones muy próximas situadas fuera de la defensa (izq.) y dentro de ella (dcha.) – Punto 2..... 31

Figura 4.10. Cruce entre la defensa y la Ruta Nacional 16 – Punto 3..... 31

Figura 4.11. Obras de control río Negro desde aguas abajo (izq.) y desde aguas arriba (dcha.) – Punto 4..... 32

Figura 4.12. Obras de control Riacho Araza hacia aguas abajo (izq.) y hacia aguas arriba (dcha.) – Punto 5.. 32

Figura 4.13. Orilla del río Paraná (izq.) y viviendas situadas en esta zona (dcha.) – Punto 6..... 32

Figura 4.14. Cruce con el Canal 16 desde aguas arriba (izq.) y aguas abajo (dcha.) – Punto 7..... 33

Figura 4.15. Planta de tratamiento de aguas cloacales (izq.) y una alcantarilla de la carretera de acceso (dcha.) – Puntos 8 y 9..... 33

Figura 5.1. Diagrama genérico de un modo de falla..... 34

Figura 5.2. Ejemplos de cuadernillos de identificación de modos de falla completados durante las sesiones. 34

Figura 6.1. Resumen de los modos de falla identificados. 35

Figura 7.1. Clasificación de los modos de fallo. 62

1. INTRODUCCIÓN

El **objetivo general** de la consultoría es brindar apoyo al BID y al Ministerio de Obras Públicas a través de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) en la toma de decisiones informada en el riesgo para el proyecto del **nuevo puente sobre el río Paraná** que se encuentra actualmente en fase de diseño.

Para ello se ha desarrollado un **análisis completo del riesgo** que ha permitido evidenciar el perfil de riesgo base y su variación a futuro para distintos escenarios, identificando claramente los distintos modos de fallo y evitar, en caso de detectarse, la potencial transferencia de impactos y riesgos a terceros.

Los **objetivos específicos** son:

- Elaborar una **narrativa** de riesgo a partir de un análisis cualitativo simplificado.
- Elaborar un **análisis cualitativo** completo detallado a través de la identificación de modos de fallo.
- Evaluación y validación del modelo **hidrológico e hidráulico** y proponer la metodología que mejor se adapte a este caso para incluir el proceso del Cambio Climático en los escenarios futuros.
- Acompañamiento técnico en los **estudios morfodinámicos**.
- Desarrollar un **análisis cuantitativo del riesgo por inundación** en el área del proyecto y realizar recomendaciones para la mejora de las condiciones de riesgo de la comunidad y el medioambiente ubicados en el ámbito de afecciones del mismo.
- Desarrollar un **Plan de Gestión del Riesgo de Desastre (PGRD)** para la mitigación y gestión del riesgo residual, dotando de resiliencia al proyecto y así aportar a su sostenibilidad.

Todas estas actividades están divididas en seis productos (Figura 1.1) resaltando en color naranja el producto en el que se enmarca este documento:

Figura 1.1. Productos de la consultoría.

Por lo tanto, en este informe se aborda el *Producto 3.2. Informe de Modos de Fallo, incluido dentro del Producto 3. Narrativa de riesgo y evaluación cualitativa completa*. El proceso seguido para realizar el análisis cualitativo completo se resume en la Figura 1.2 y se describe con mayor detalle en los apartados de este documento.

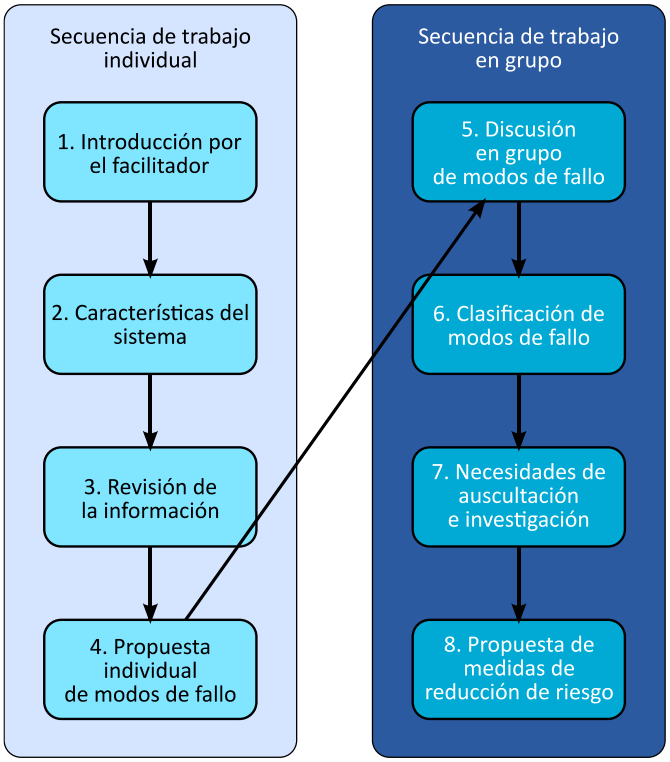


Figura 1.2. Etapas del proceso de identificación de modos de fallo.

Este taller de identificación de modos de fallo se realizó durante el día 31 de mayo de 2023 en las oficinas del Banco Interamericano de Desarrollo de Buenos Aires, con un horario previsto de 8:00 a 18:00 h, organizado según la **agenda** que se incluye a continuación:

08:00 – 10:00 Revisión de información.

10:00 – 11:00 Identificación individual de modos de fallo, dónde cada uno de los participantes realizará una primera identificación en un cuadernillo de trabajo a partir de la revisión de información.

11:00 – 13:00 Puesta en común de los modos de fallo identificados individualmente para llegar a un consenso sobre los modos de fallo grupales. Análisis de los factores que hacen que cada uno de los modos de fallo tengan más o menos riesgo.

13:00 – 14:00 Almuerzo.

14:00 – 15:30 Puesta en común de los modos de fallo identificados individualmente para llegar a un consenso sobre los modos de fallo grupales. Análisis de los factores que hacen que cada uno de los modos de fallo tengan más o menos riesgo.

15:30-17:00 Clasificación de los modos de fallo. Esta clasificación es la base para analizar la necesidad de realizar cambios en las obras propuestas y/o realizar estudios de mayor detalle.

17:00-17:45 Propuesta de recomendaciones para mejora del diseño de las obras y la reducción de incertidumbre a partir de los modos de fallo identificados.

17:45-18:00 Conclusiones y cierre del taller.

El taller contó con grupo multidisciplinar, incluyendo técnicos de iPresas, del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), integrantes de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y consultores externos, siendo un total de 19 personas que participaron activamente en el taller.

	Participante	Entidad
1	María Rosalía Enriquez	DNV
2	Nicolás Snihur	DNV
3	Patricia Giletta	DNV Chaco
4	Carlos R. Bordagaray	DNV
5	Augusto García	DNV
6	Martín Zanabria	DiGepse - MOP
7	Gabriela Iglesia	DiGepse - MOP
8	Marcelo Somenson	MOP
9	Carlos Bordagaray	MOP
10	Lucas Leonczyk	SIT
11	Lucia Misiaszek	MAyDTS
12	Leandro Kazimierski	BID
13	Horacio Civeni	BID
14	Robert Langstroth	BID
15	Cristian Moleres	BID
16	Raimon Porta	BID
17	Adrián Morales	iPresas
18	Francisco Javier Sánchez Caro	iPresas
19	África de Rojas García	iPresas

Tabla 1.1. Participantes del taller.

2. Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático (MERDCC)

El BID, en línea con la **política OP-704** de Gestión del Riesgo de Desastre y con el compromiso de la Reunión Anual de la Asamblea de Gobernadores en Bahamas en el 2016, ha desarrollado una **Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático** (BID, 2019), en adelante MERDCC, que brinda un marco claro y práctico para la adecuada consideración de estos riesgos en los proyectos (Figura 2.1).

La metodología está diseñada como una secuencia de pasos que permite salidas del proceso a medida que se cumple con ciertos mínimos. Lo que busca escalar esfuerzos y asegurarse que los requerimientos para un proyecto sean verdaderamente acordes con su nivel de riesgo.

Dentro de esta Metodología al proyecto se le asigna una clasificación del riesgo (riesgo Bajo, Moderado o Alto). Únicamente si la clasificación es de riesgo Alto entonces es obligatorio realizar una Evaluación de Riesgo de Desastres (ERD), para la clasificación de riesgo Moderado la realización de una ERD es opcional y generalmente se recomienda como un valor agregado, y para la clasificación de riesgo Bajo no es necesaria su realización.

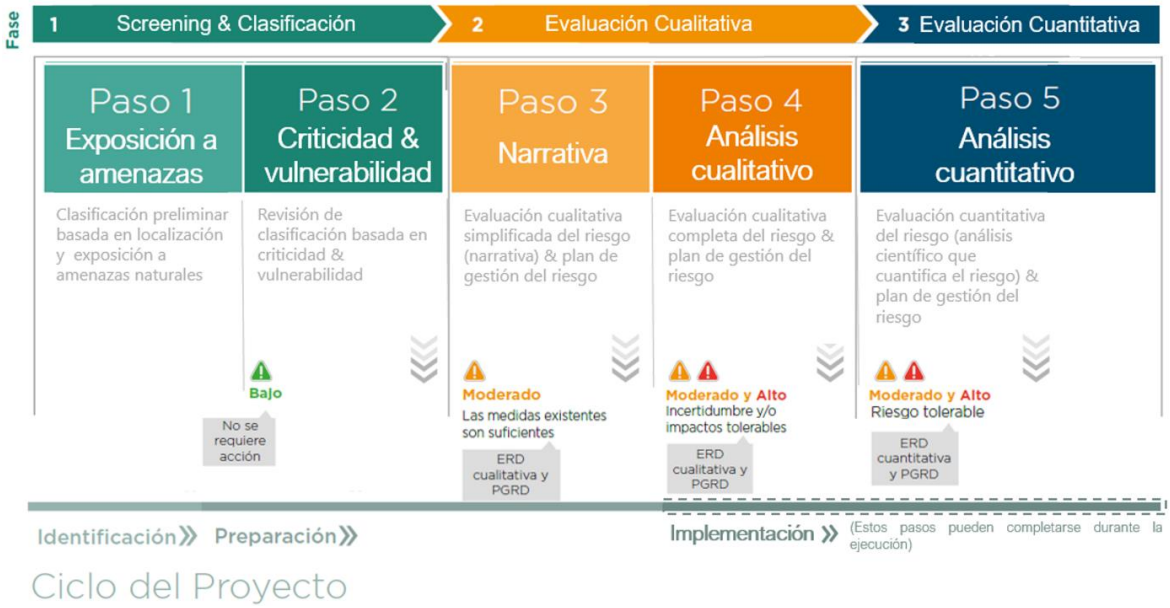


Figura 2.1. Metodología para la Evaluación del Riesgo de Desastre y Cambio Climático (BID, 2019).

En este informe se realiza una identificación de modos de fallo, formando parte del Paso 4: Análisis cualitativo, donde se completa la Fase 2, realizando una evaluación cualitativa completa del riesgo.

3. REVISIÓN DE INFORMACIÓN

El primer paso para el desarrollo del proceso de identificación de modos de fallo es la revisión de toda la información disponible. El principal documento revisado ha sido el **Anteproyecto** de la obra, que se ha dividido en catorce capítulos:

- Capítulo 1. Resumen ejecutivo (2019).
- Capítulo 2. Topografía – batimetría (2019).
- Capítulo 3. Estudios geotécnicos (2018).
- Capítulo 4. Hidrología e hidráulica (2019).
- Capítulo 6. Tránsito (2019).
- Capítulo 7. Proyecto vial (2019).
- Capítulo 8. Puente principal y viaductos de acceso (2019).
- Capítulo 9. Puentes menores: distribuidores, cauces menores y A.N. Ferroviario (2019).
- Capítulo 10. Cómputos, análisis de precios y presupuesto
- Capítulo 12. Expropiaciones y servicios afectados (2019).
- Capítulo 13. Estudio de impacto ambiental (2021).
- Capítulo 14. Evaluación económica (2022).

Asimismo, se han revisado otros documentos de interés que proporcionan información valiosa en el emplazamiento del puente proyectado:

- Estudio de impacto de fallas de Yacyretá para el PAE (INA, 2013), donde se calculan los caudales erogados desde la presa de Yacyretá considerando distintos escenarios extremos.
- Dirección de Planificación Urbana del Gobierno de la Provincia de Chaco (SIT, 2023), donde se incluyen los Planes de Ordenación del Territorio previstos para la ciudad de Resistencia.

En este apartado se sintetiza toda la información revisada y se expone agrupada en siete apartados que hacen referencia a distintas áreas del proyecto.

3.1.Contexto

El Proyecto consiste en la construcción de un nuevo puente de dos carriles de circulación por sentido entre las provincias de Chaco y Corrientes que sirva de alternativa al Puente General Manuel Belgrano y evite la circulación del tránsito de media y larga distancia a través de los núcleos urbanos.

El actual puente que conecta Chaco con Corrientes, el Puente General Manuel Belgrano, fue inaugurado en 1973 y preveía un tránsito diario medio anual de 3,500 vehículos. Actualmente, el tránsito diario promedio es de 20,000 vehículos. El nuevo puente da respuesta a este explosivo aumento de tránsito y posibilitará la circulación de 45,000 vehículos diarios que se proyectan para 2040.

El proyecto incluye la construcción de un **nuevo puente principal sobre el Río Paraná** de 770 m de luz, 5,600 m de viaductos de acceso en el valle de inundación y 26.3 km de autopista entre las actuales RN 11 y RN 12 que incluye terraplenes de notable entidad para alcanzar la rasante del viaducto. Se considera una obra estratégica en el corredor bioceánico del Eje Capricornio, que involucra 5 países, 20 ciudades y pasos de

frontera y 11 puertos fluviales o marítimos. En la Figura 3.1 se muestra una visión en planta de las obras proyectadas y en la Figura 3.2 un render del puente.

Figura 3.1. Distribución de las obras planteadas.

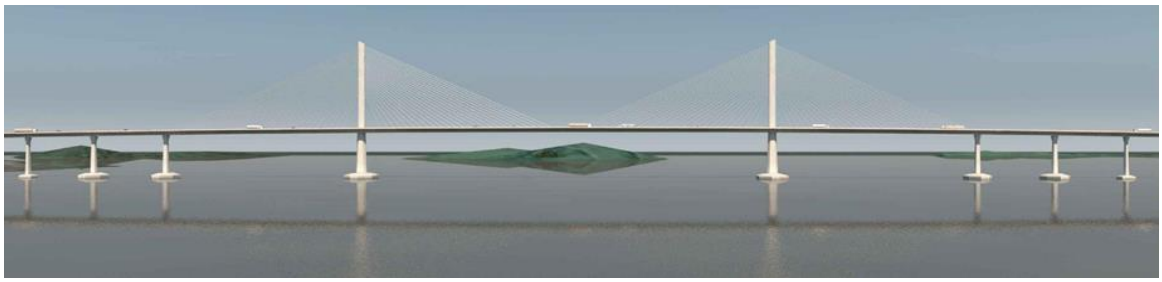


Figura 3.2. Render del puente proyectado.

3.2.Diseño

El puente debía estar diseñado para una vida útil de 100 años, una velocidad de diseño de 130 km/h, un gálibo mínimo horizontal de 300 m y uno vertical de 35 m respecto a la crecida de 1,000 años de larga duración. En base a estos condicionantes de diseño se estudian distintas alternativas, referidas tanto a diferentes trazas, longitudes de viaductos de acceso, tipologías de puentes, geometrías, etc.

El diseño adoptado finalmente es de una longitud total de 772 metros entre juntas con una distribución entre vanos de 60 m + 161 m + 330 m + 161 m + 60 m, dando lugar a un perfil de atirantamiento prácticamente simétrico. En la Figura 3.3 se muestra el perfil longitudinal del puente con las medidas finalmente adoptadas.

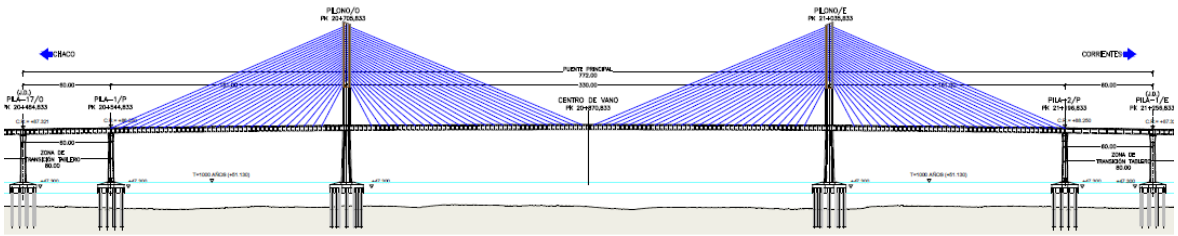


Figura 3.3. Perfil longitudinal del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto.

En cuanto al trazado, se plantearon cuatro alternativas distintas, escogiendo finalmente la que transcurría por el centro. En la Figura 3.4 se muestra el trazado en planta de la opción escogida y en la Tabla 3.1 se resumen los distintos elementos situados en la traza y su ubicación con respecto al origen.

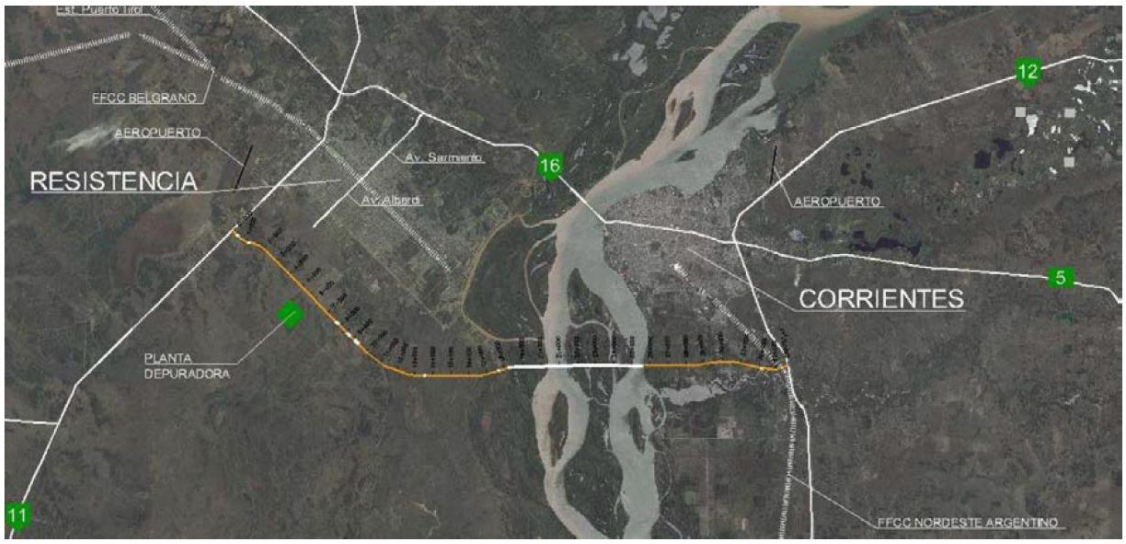


Figura 3.4. Visión en planta del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto.

Progresiva	Distribuidor / Puente	Provincia
0+000	Distribuidor en R.N. N°11	Chaco
6+062	Distribuidor en Calle Urquiza	Chaco
11+225	Puente Cajón para camino vecinal	Chaco
16+661	Puente Cajón para camino vecinal	Chaco
17+740	Puente sobre Riacho Arazá	Chaco
19+330 a 25+747	**Puente principal y viaductos de acceso**	Chaco/Corrientes
27+293	Distribuidor en Parque Industrial	Corrientes
29+632	Puente sobre Arroyo Pirayuí	Corrientes
30+028	Distribuidor en Calle Av. Payé	Corrientes
33+677	Puente sobre FF.CC. Urquiza	Corrientes
33+934	Distribuidor en R.N. N°12	Corrientes

Tabla 3.1. Elementos del trazado del puente. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto.

3.3. Topografía, geología y geotecnia

Se ha realizado un levantamiento topográfico de la zona utilizando un sensor LIDAR, a partir del cual se ha obtenido el Modelo Digital de Elevaciones, y relevamientos fotográficos, obteniendo ortofotos. La planicie relevada representa un área de aproximadamente 221,600 has, tal y como se puede ver en la Figura 3.5.

En cuanto a la batimetría, se levantaron un total de 128 perfiles batimétricos a lo largo de un tramo de 80 km a lo largo del Paraná, incluye también perfiles en las desembocaduras de los ríos y arroyos aportantes comprendidos en el estudio.

Los resultados obtenidos son **perfiles topobatimétricos**, obtenidos a partir de integración de los puntos derivados del relevamiento batimétrico con los puntos relevados mediante tecnología LiDAR para contar con perfiles completos, incluyendo el lecho y la planicie de inundación.

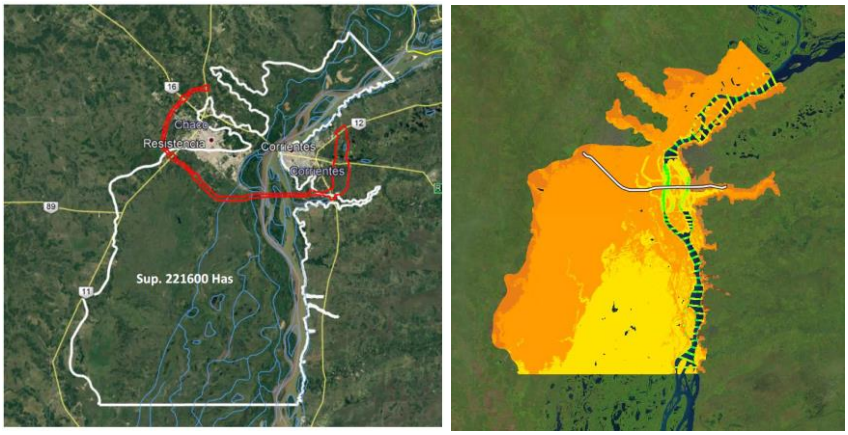


Figura 3.5. Área relevada y topobatimetría. Fuente: Capítulo Nº2 del Anteproyecto.

En el Capítulo Nº3 se analiza la **geología** de la zona, donde se ha identificado principalmente limos y arenas, tal y como se puede observar en la Figura 3.6. En cuanto a la geomorfología, se afirma que se trata de una zona con una dinámica fluvial muy compleja. En la Figura 3.7 se muestra el mapa geomorfológico.

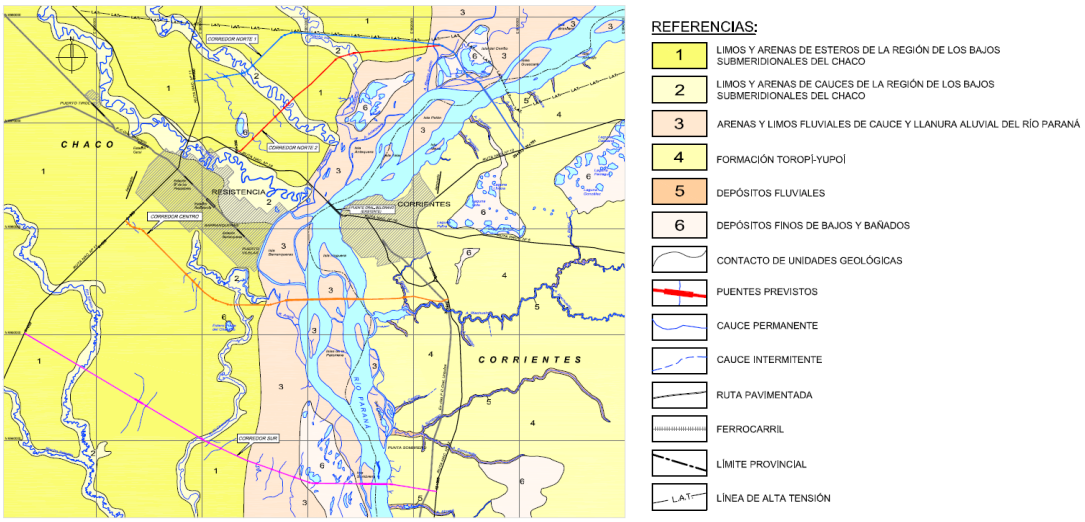


Figura 3.6. Mapa geológico. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto.

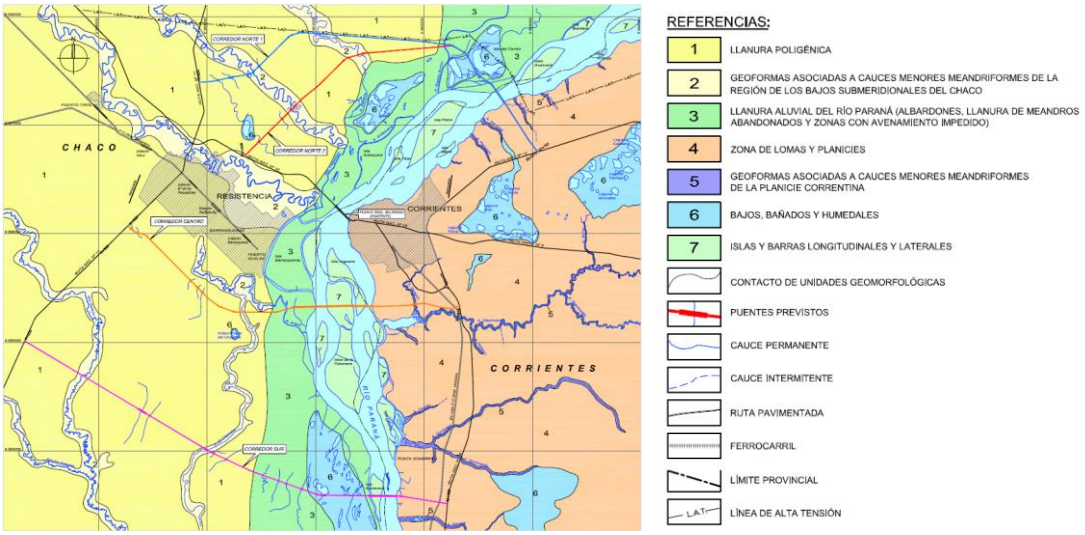


Figura 3.7. Mapa geomorfológico. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto.

En cuanto a la investigación geotécnica, se ha realizado una campaña que incluye barrenos, calicatas y sondeos en la zona del proyecto, lo que ha permitido caracterizar la zona y elaborar un perfil estratigráfico en la sección longitudinal del puente principal. En la Figura 3.8 se muestra la ubicación de la investigación geotécncia y en la Figura 3.9 el perfil estratigráfico, ambos en la sección del puente principal. En general, se han distinguido cinco tipos de suelos:

- **Suelo 1:** Es el suelo superficial cuyo espesor varía a lo largo de la traza de la obra y está constituido por suelos arcillosos de consistencia blanda a media (2<N<8) y arenosos flojos (N<10)
- **Suelo 2:** Arena fina limosa SM y limo arenoso no plástico ML, medianamente denso (10<N<30). Se divide en dos tipos el primero 2a son las más flojas (10<N<15) y generalmente superficiales, muy poco resistentes y cuya colaboración a la capacidad portante de los pilotes es muy baja y no se ha tenido en cuenta. El resto se denomina 2b y tiene valores de N comprendidos entre 15 y 30 (con promedio de N=22)
- **Suelo 3:** Arena fina limosa densa (30<N<50)
- **Suelo 4:** Arena, arena limosa SM y limo arenoso no plástico ML, muy densa con N>50
- **Suelo 5:** Arcilla y limo arcillo de plasticidad variable. En algunos lugares estos suelos cohesivos son arenosos. En general son de consistencia muy firme o dura. Se divide en dos tipos, 5a son suelos de consistencia muy firme o dura con valores de N comprendidos entre 20 y 40. 5b son suelos cohesivos muy resistentes, arcillas arenosas, de consistencia muy dura, con registros en los ensayos de penetración N>50.

Figura 3.8. Ubicación investigación geotécnica. Fuente: Capítulo Nº3 del Anteproyecto.

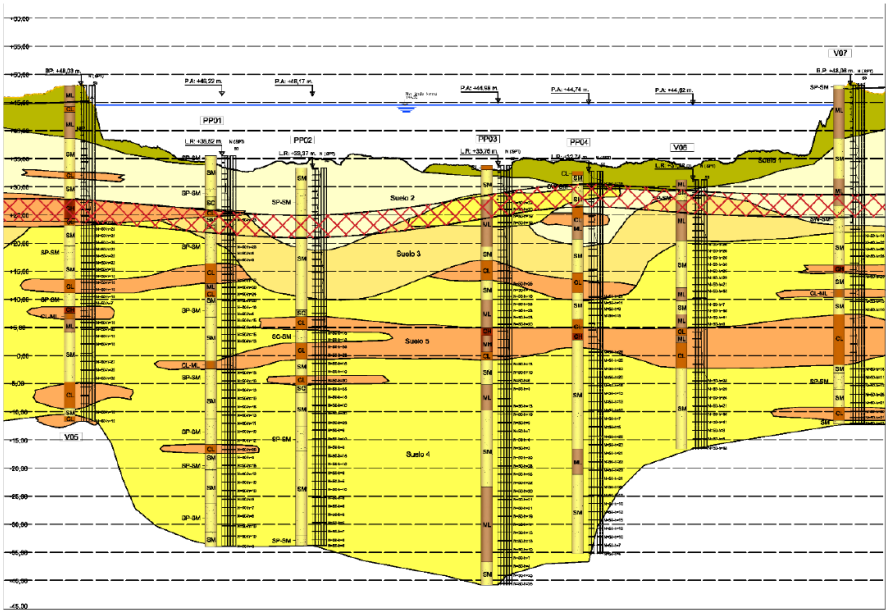


Figura 3.9. Perfil estratigráfico en el tramo del puente principal. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

Por último, según el Instituto Nacional de Prevención Sísmica, se identifica que el proyecto se encuentra en una zona de **peligrosidad sísmica muy reducida** con una aceleración máxima de 0.04g, tal y como se observa en la Figura 3.10.

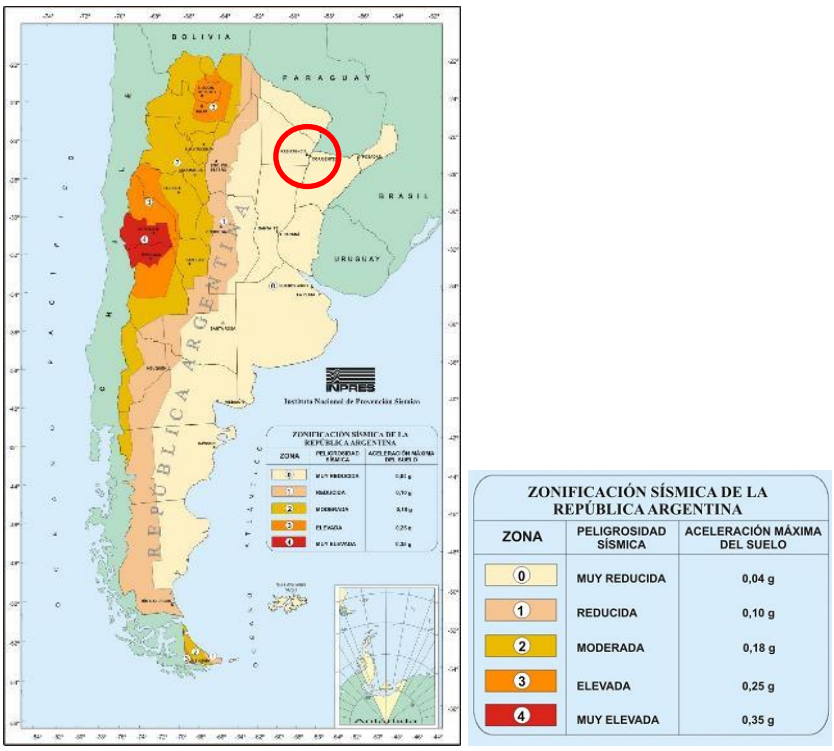


Figura 3.10. Mapa de peligrosidad sísmica. Fuente: (INPRES, 2023).

3.4.Cálculo estructural

El cálculo estructural se ha realizado adoptando como base la última versión publicada de AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Además, se complementó con ASHTO Guide Design Specifications for Design

and Construction of Segmental Concrete Bridges y con PTI Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation (5th Edition, 2007).

Se han adoptado cinco hipótesis de carga principales:

1. **Cargas permanentes:** peso propio tablero atirantado, peso propio vano de acceso, carga muerta tablero, peso propio pilonos, peso propio pilas laterales, incremento del pavimento, peso propio cables, consideración de efectos reológicos, retracción y fluencia de carga muerta y pretensado.

   Cabe destacar que se ha adoptado un periodo de retorno de **100 años** para las cargas de la acción del agua y el viento.

2. **Sobrecargas:** Sobrecargas de tráfico (LL), sobrecargas de viento sobre la estructura (WS), sobrecargas de viento sobre la sobrecarga (WL), rozamiento de apoyos (FR), sobrecargas térmicas (TU, TG).

3. **Cargas sísmicas.** A pesar de encontrarse dentro de una zona sísmica catalogada con peligrosidad sísmica muy reducida o "Zona 0", al tratarse de una construcción de gran importancia debe mantenerse en funcionamiento después de un terremoto destructivo. Por ello, se han aplicado los requerimientos establecidos en la CIRSOC 103, asumiendo los valores asignados para la "Zona 1" y adoptando un valor de aceleración de 0.08g.

4. **Impacto de embarcaciones.**

5. **Rotura de obenque.**

El modelo de cálculo utilizado para analizar la estructura completa del Puente Principal (superestructura, infraestructura y tirantes) ha sido un **modelo 3D de elementos finitos** tipo barra elaborado con el software Sofistik (Figura 3.11). Sobre este modelo se han aplicado las cargas indicadas, comprobándose todos los estados indicados, para tiempo instantáneo y a largo plazo.

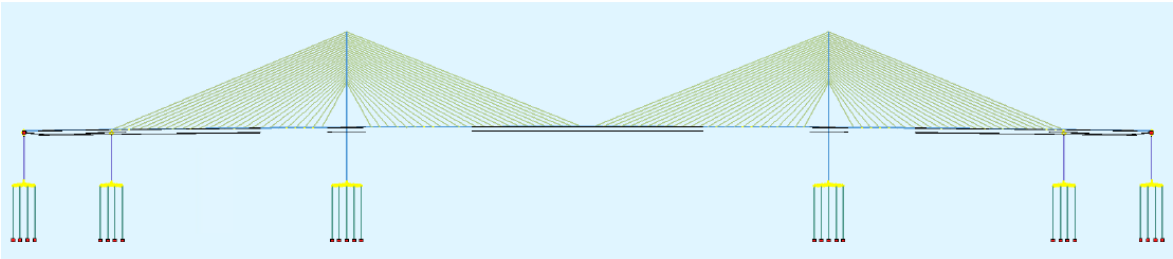


Figura 3.11. Vista del puente en el software. Fuente: Capítulo Nº8 del Anteproyecto.

Se han obtenido resultados generales, en el tablero y en los pilonos. Asimismo, se han realizado comprobaciones en el tablero, en los obenques y en los pilonos, para verificar que se cumple con los requerimientos.

3.5.Hidrología e hidráulica

En el Capítulo Nº4. Hidrología e hidráulica, se ha realizado un análisis hidrológico-hidráulico del tramo del río del Paraná con el objetivo de obtener caudales de diseño, asociados a distintas recurrencias, en la sección del puente proyectado. Estos resultados servirán como base del dimensionamiento de la altura del puente necesaria y la capacidad de las obras de drenaje complementarias. Este proceso se ha realizado en cinco pasos:

1. Para el **análisis hidrológico del río Paraná** se efectuaron análisis estadísticos a partir de series de caudales máximos medios diarios y caudales instantáneos máximos anuales de la estación de

Corrientes y fueron ajustadas mediante la distribución de **Pearson III**, obteniendo los resultados que se muestran en la Figura 3.12.

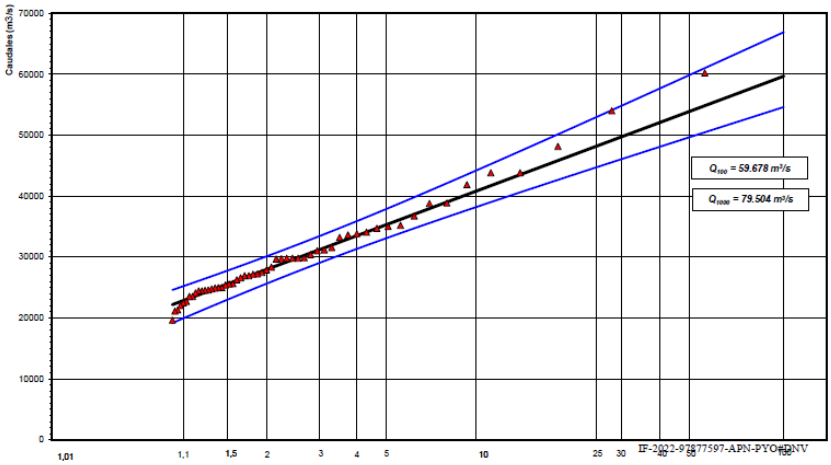


Figura 3.12. Resultados del análisis estadístico. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

La forma de los hidrogramas se adoptó en base a dos **crecidas históricas**: el registrado en la crecida histórica del año 1983 se adoptó como representativo de una crecida de larga duración, y el medido en la crecida del año 1992 como representativo de una crecida de corta duración. Los caudales pico fueron escalados para obtener dos hidrogramas equivalentes a la crecida de 100 años y dos a la de 1,000 años. En la Figura 3.13 se muestran los resultados obtenidos para la crecida de 1,000 años.

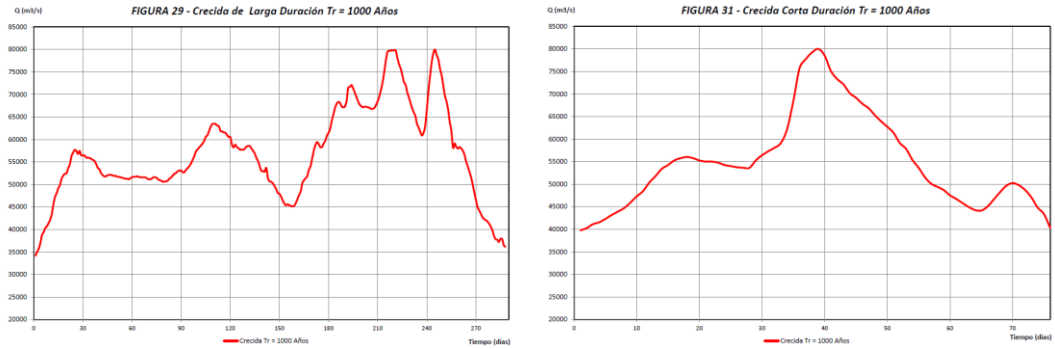


Figura 3.13. Hidrogramas asociados a 1,000 años de periodo de retorno para una crecida de larga duración (izquierda) y corta duración (derecha). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

2. El **funcionamiento hidráulico** del puente principal y las obras de arte asociadas se ha evaluado en dos escenarios: uno correspondiente a la situación actual sin puente y otro en el que se introducen las obras proyectadas. Los caudales de diseño considerados han sido:

   - Q= 27,954 m³/s (Tr= 2 años).
   - Q= 35,270 m³/s (Tr= 5 años).
   - Q= 46,390 m³/s (Tr= 20 años).
   - Q= 54,000 m³/s (Tr= 50 años) – Diseño alcantarillas.
   - Q= 60,000 m³/s (Tr= 100 años) – Diseño puentes y verificación alcantarillas.
   - Q= 65,000 m³/s (Tr= 200 años) – Verificación Puente Arazá.
   - Q= 80,000 m³/s (Tr= 1.000 años) – Verificación Puentes Principales.

3. La modelación hidrodinámica **unidimensional** se realizó con el software HEC-RAS 5.0.3, en el que se han simulado funcionamiento permanente (crecidas sintéticas) y no permanente (crecidas asociadas a eventos reales, de corta y larga duración), todo ello para los dos escenarios mencionados (con puente y sin puente).

   Estos resultados han sido calibrados y validados y sus resultados fueron empleados, principalmente, para obtener un valor de las condiciones de contorno del modelo bidimensional.

4. La modelación hidrodinámica **bidimensional** se realizó con el software Delt3D y el objetivo principal fue analizar el impacto de la obra propuesta sobre los niveles de agua, la restricción al campo de velocidades y los procesos de sedimentos, bajo condiciones hidrológicas de diseño.

   En este modelo se tuvo en cuenta las obras existentes (Puente Gral. Manuel Belgrano y el terraplén de defensa de la ciudad de Resistencia) y la obra propuesta para la nueva conexión vial Chaco Corrientes, incluyendo el puente principal, el puente sobre el Riacho Arazá y las 25 alcantarillas sobre la planicie de margen derecha.

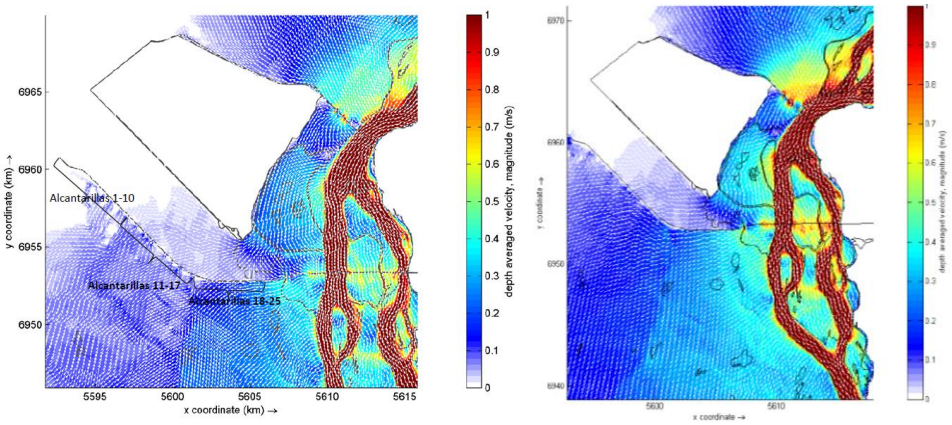


Figura 3.14. Campo de velocidades para Tr= 50 años (izquierda) y Tr= 100 años (derecha). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

A partir de la modelización de la crecida de 50 años de periodo de retorno, se obtuvo el caudal de diseño de entrada a cada alcantarilla, cuyos resultados se muestran en la Figura 3.15.

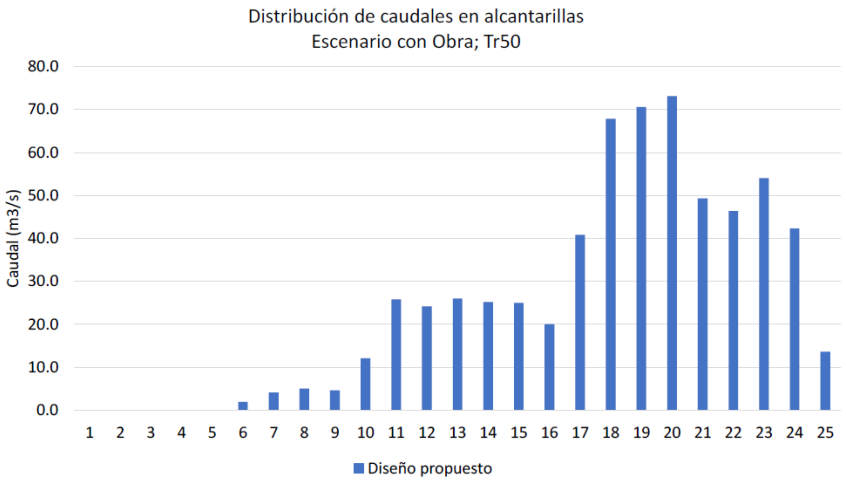


Figura 3.15. Caudales de entrada a las alcantarillas. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

5. Para la verificación del funcionamiento hidráulico de las **obras de arte ubicadas en las márgenes** se ha tenido también en cuenta el aporte de las cuencas menores ubicadas en la llanura donde se ubican para la verificación de su capacidad.

   En total, se han distinguido 23 cuencas de aporte, nombradas desde CH1 a CH18 las de la margen derecha y CC1 a CC5 las de la margen izquierda, de tamaños desde 10 ha hasta valores por encima de 6.000 ha. La delimitación de las cuencas de aporte se muestra en la Figura 3.16.

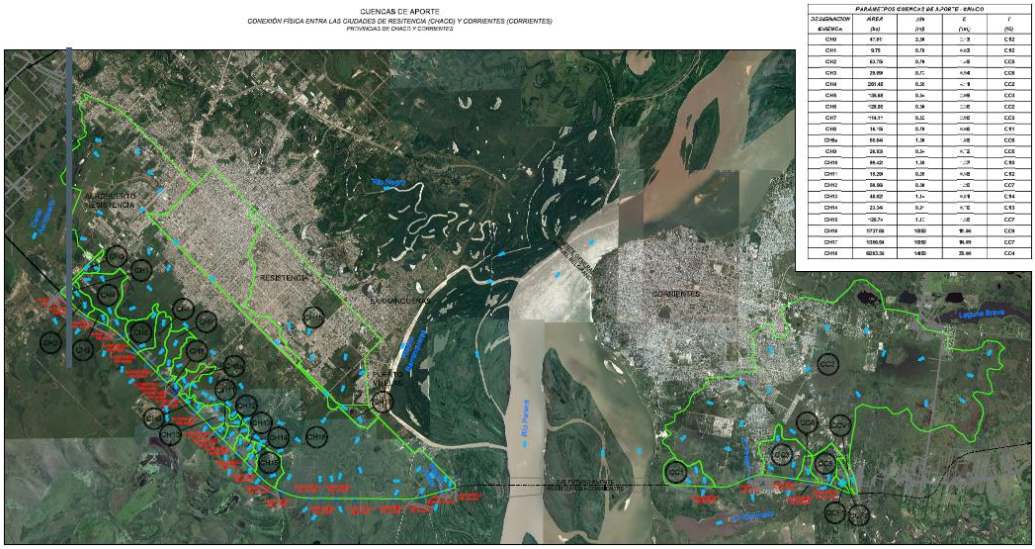


Figura 3.16. Delimitación de las cuencas menores. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

Para el cálculo de caudales, se han empleado dos metodologías distintas basadas en sistemas de transformación lluvia-caudal: el **Método Racional Generalizado** (Federico Rühle, DNV–1966), aplicado en todas las cuencas de aporte, y el **Modelo Hidrológico con HEC-HMS** del US Army Corps of Engineers, aplicado únicamente a cuencas mayores a 800 hectáreas.

Una vez obtenidos los caudales de aporte de cada subcuenca, se ha llevado a cabo la comprobación del **funcionamiento hidráulico** tanto de las obras de arte mayores como menores:

- El funcionamiento hidráulico de las **obras de arte menores** (alcantarillas) ha sido analizado a partir del empleo del módulo HY8-Culverts. El criterio seguido para la validación de su comportamiento ha sido en base a que, para un período de retorno de 50 años, las alcantarillas deben funcionar sin carga a la entrada y con un tirante máximo menor al 80% de la altura de estas. Asimismo, se ha verificado que para una recurrencia de 100 años funcionan “a superficie libre”.

- El funcionamiento hidráulico de las **obras de arte mayores** (puentes sobre el riacho Arazá y sobre el arroyo Pirayuí) ha sido analizado mediante el empleo del modelo matemático hidrodinámico HEC-RAS. El criterio seguido en este caso ha sido verificar que para la crecida de 100 años exista una revancha de al menos un (1) metro entre el fondo de viga del puente y la cota máxima del pelo de agua que surge de los cálculos efectuados. Asimismo, los puentes han sido analizados para un evento de menor probabilidad de ocurrencia (200 años), verificando que el escurrimiento bajo el puente se produzca a superficie libre.

Por otro lado, en el informe ***Estudio de Impacto de Fallas de Yacyretá para el PAE (Plan de Acción frente Emergencias)*** se realiza, en el Cuarto Informe Parcial, estudios para identificar y delinear áreas inundables

diferenciales en el caso de accidentes o fallas en la presa de Yacyretá, presa situada aguas arriba del puente proyectado para conectar las provincias de Chaco y Corrientes.

En dicho informe se presentan los resultados del modelo hidrodinámico para los Escenarios de Base (que no implican fallas de la presa de Yacyretá), los cuales incluyen los Escenarios de Referencia (representativos de situaciones estadísticamente significativas) y los Escenarios Críticos (constituidos por eventos de envergadura).

Dentro de los Escenarios Críticos, se establecieron tres: la crecida de los años 82/83, por ser atípicamente larga; la Crecida Máxima Probable, como representante de la crecida máxima físicamente posible; y un accidente operacional de Itaipú, representando el máximo evento esperable por falla operacional de Itaipú.

La **Crecida Máxima Probable (CMP)** ha sido calculada en base a la determinada por Harza y Consorciados (1998) y contrastada con los eventos máximos históricos ocurridos. Tras analizar los eventos históricos ocurridos, se manifiesta que durante las grandes crecidas en el Alto Paraná también se producen crecidas significativas en el río Paraguay con una relación de picos oscila en torno a 0.2 en magnitud y entre 1 y 2 semanas de desfase máximo, rozando la simultaneidad en algunos casos.

El hidrograma finalmente adoptado es el determinado por Harza en 1998, que además es destacable su similitud con la crecida de los años 91/92. En este evento en concreto, los eventos en los ríos Paraná y Paraguay coincidieron en el tiempo, por lo que los hidrogramas adoptados finalmente son los que se muestran en el gráfico izquierdo de la Figura 3.17, medidos en las localidades de Asunción y Posadas.

Si se tiene en cuenta el tránsito de ambas ondas por sus respectivos cauces, hasta llegar a su unión, se obtienen los distintos hidrogramas que se incluyen en el gráfico de la derecha de la Figura 3.17, donde se puede observar que el valor del caudal pico en la localidad de corrientes es de aproximadamente **98.000 m³/s.**

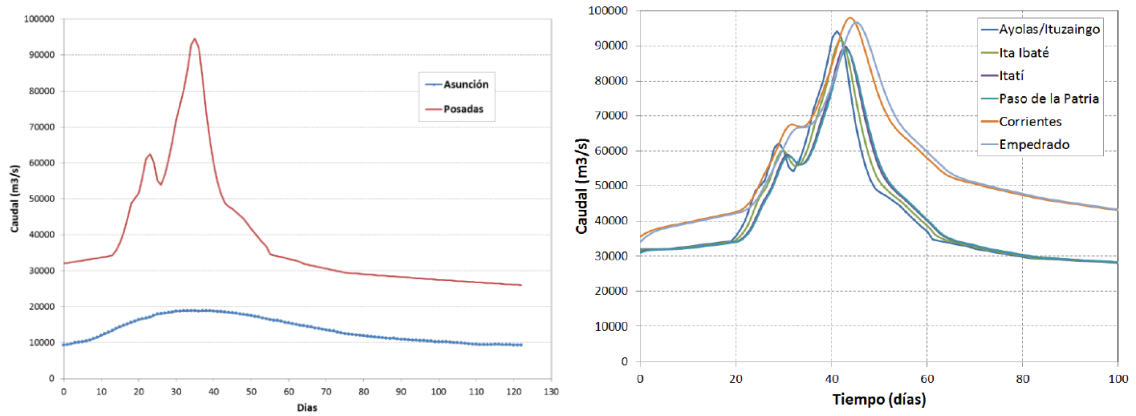


Figura 3.17. Hidrograma de la CMP en Asunción y Posadas (izq.) y transitados en distintas localidades (dcha.). Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

3.6. Estabilidad relativa del río

El río Paraná en el tramo de la zona de estudio tiene características fluvio-morfológicas muy particulares, dominadas por el efecto producido por el gran aporte de sedimentos provenientes del río Paraguay. En la Figura 3.18 se muestra la evolución del curso del río Paraná entre los años 1982 y 2001, donde se observa la gran variabilidad de los cauces e islas en la alternativa seleccionada.

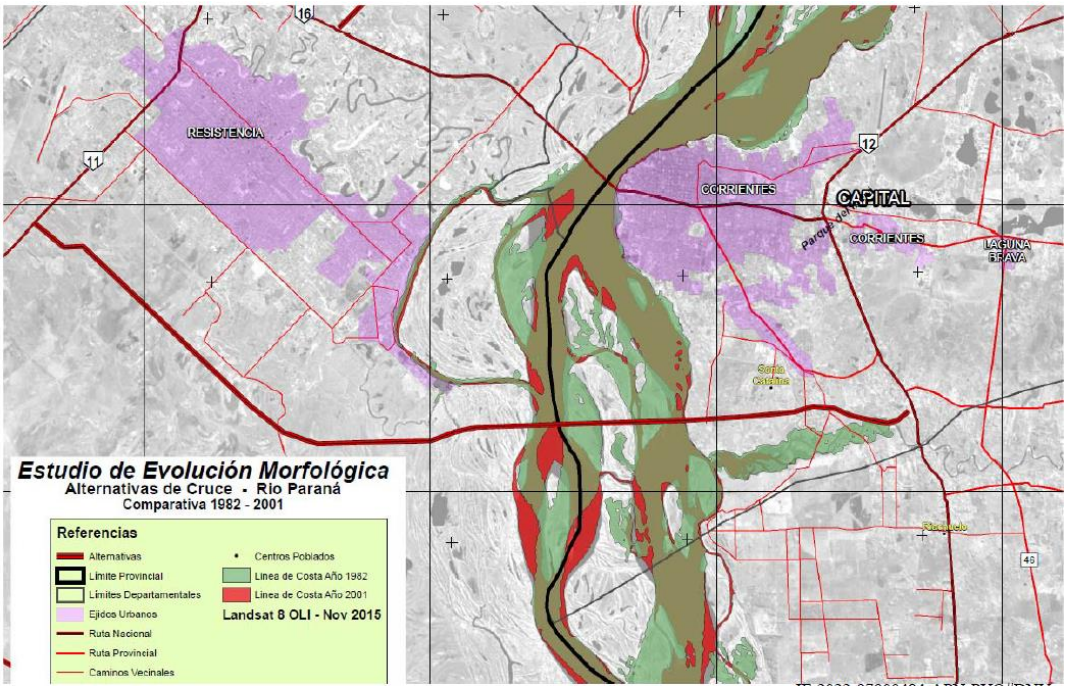


Figura 3.18. Evolución del curso del río Paraná. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016).

Este proceso se ve reflejado de forma numérica al medir en distintos años, con un lapso de tiempo de 23 años, el ancho del cauce y el ancho y largo de la Isla Palomera. Los resultados se muestran en la Tabla 3.2.

1992 Fotografías aéreas IGN	2015 Imagen satelital Google Earth	Diferencia
Ancho de cauce 5.100 m	Ancho de cauce 5.173 m	+73 m
Longitud isla Palomera 14.100 m	Longitud Isla Palomera 15.417 m	+1.317 m
Ancho isla Palomera 2.750 m	Ancho isla Palomera 3.505 m	+755 m

Tabla 3.2. Cambios en el cauce entre 1992 y 2015. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016).

De lo anterior, se obtienen las siguientes conclusiones:

- En el lapso de 23 años considerados se verifica la alta dinámica geomórfica en el cauce del río Paraná atravesado por el corredor Centro.
- Sobre las márgenes, las erosiones totales estimadas son del orden de 3.2 m/años.
- En la isla Palomera se produjeron modificaciones morfológicas por erosión/sedimentación que resultaron, estimativamente, en un aumento de 57 m/año de su longitud y de 33 m/año de ancho en coincidencia con el trazado propuesto.

En el anteproyecto del puente proyectado, se ha llevado a cabo la evaluación de los **procesos de erosión** que se generarán en el río Paraná en el sitio de emplazamiento del puente (alternativa centro). Este análisis se ha efectuado para las crecidas de 100 y 1.000 años de periodo de retorno a partir de los siguientes elementos:

- Evaluación de la **erosión general** a partir del **modelo hidrodinámico** bidimensional utilizado para el análisis hidráulico de la obra. La misma considera los efectos de contracción por la existencia de los estribos. Para ello, se tuvo en cuenta únicamente la carga de fondo debido a corrientes, y se dedujo de estudios anteriores que el material de fondo es preponderantemente arenas con un D_{50} de 0.480 mm, obteniéndose una velocidad de caída de 6.75 cm/s.
- Verificación de la **erosión general** mediante formulaciones **teórico-empíricas** dadas por distintos autores (como Blench, Maza Alvarez y Lichman-Levediev).
- Evaluación de los procesos de **erosión localizada** a partir de formulaciones **teórico-experimentales** (Larusen y Toch (1956), Maza y Sánchez (1964), Larras (1963), etc.).

A partir de los resultados obtenidos, se construyó la gráfica incluida en la Figura 3.19 donde se muestra, para la crecida de 1.000 años de periodo de retorno, el efecto de la erosión general y local en la sección del puente principal.

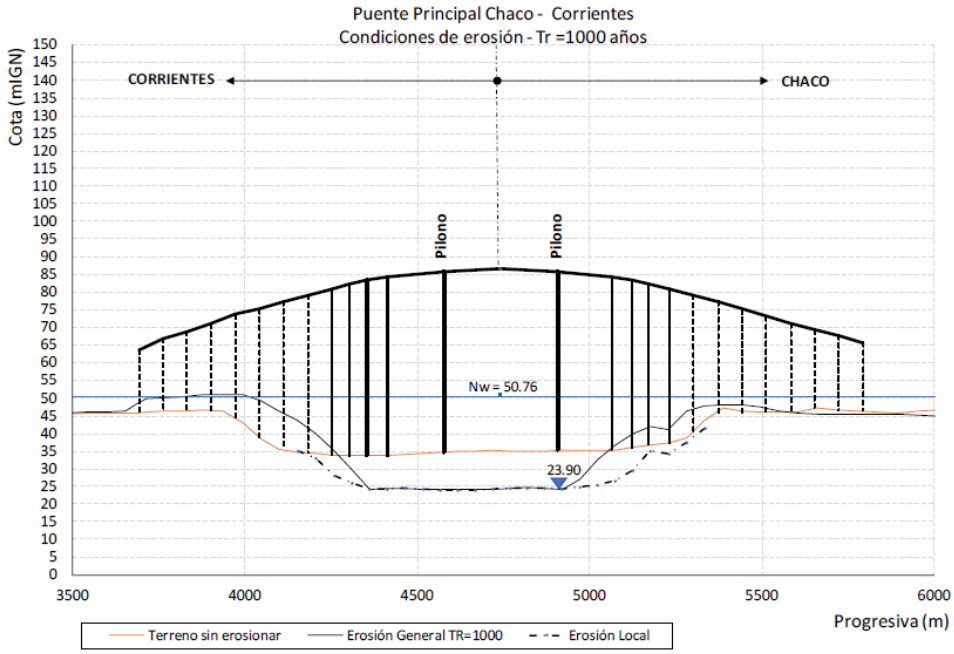


Figura 3.19. Efectos de la erosión general y local para Tr= 1,000 años. Fuente: Capítulo Nº4 del Anteproyecto.

3.7.Impacto ambiental

En la selección de alternativas, se ha tenido en cuenta el impacto ambiental de cada traza propuesta sobre los humedales (izquierda en la Figura 3.20) y sobre la zona Ramsar (derecha en la Figura 3.20). Se justifica que la alternativa centro (escogida finalmente) es la que menos área Ramsar afecta.

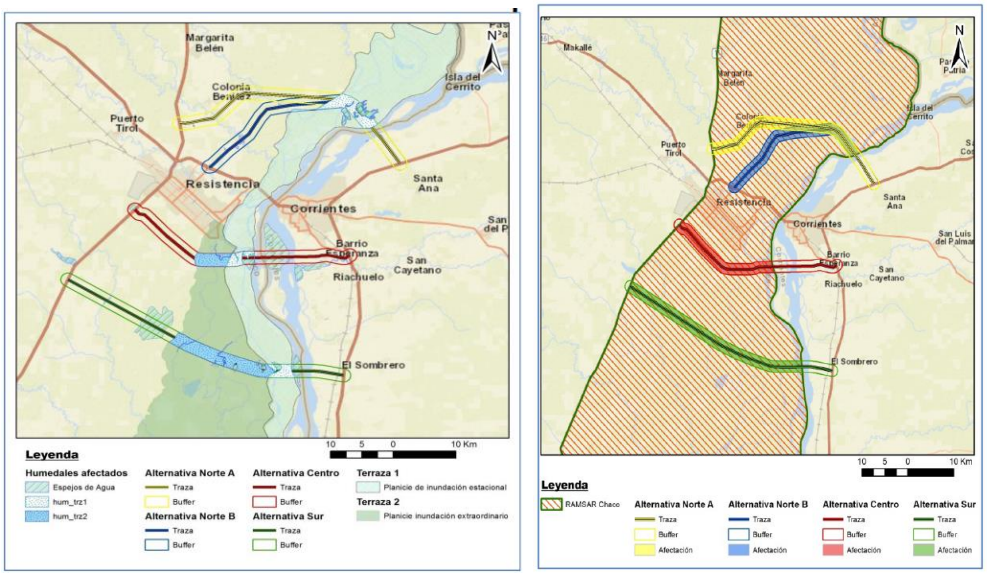


Figura 3.20. Área afectada por cada traza de humedales (izquierda) y zona Ramsar (derecha). Fuente: Capítulo Nº13 del Anteproyecto.

Por otro lado, se tiene previsto en ambas ciudades (Resistencia y Corrientes) una **expansión demográfica** hacia el sur. En la Figura 3.21 se muestra el Plan de Desarrollo Urbano previsto para la zona sur de la ciudad de Resistencia, donde se observa como las áreas pobladas tienden a acercarse a la traza del puente proyectado.

Por otro lado, en la Figura 3.22 se muestra el plan de desarrollo urbano previsto para la ciudad de Corrientes, donde se observa que se tiene previsto la traza del puente.

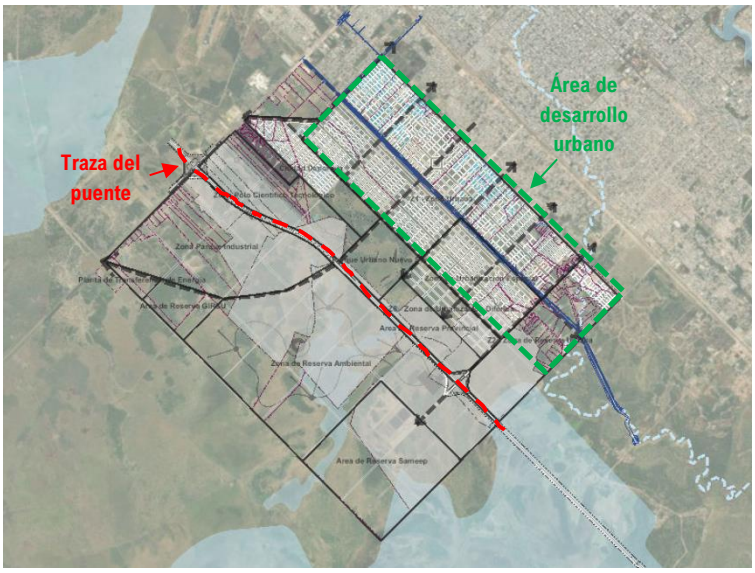


Figura 3.21. Plan de desarrollo urbano previsto en la ciudad de Resistencia. Fuente: (SIT, 2023).

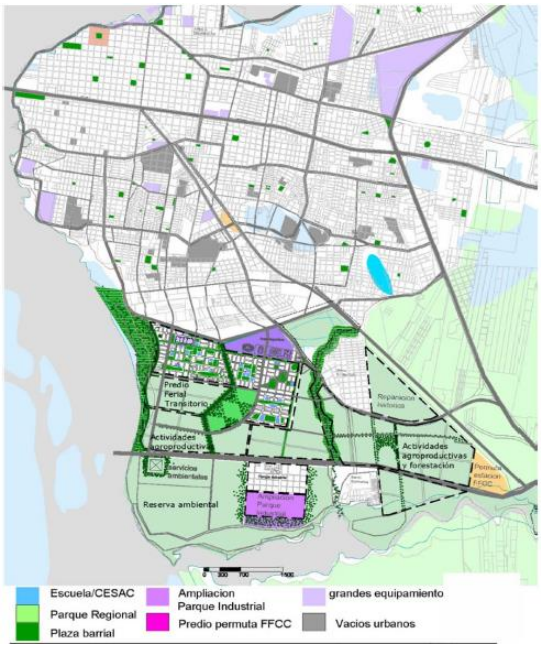


Figura 3.22. Plan de desarrollo urbano previsto en la ciudad de Corrientes. Fuente: presentación en la Dirección Nacional de Vialidad (4/05/2016).

3.8. Gestión de emergencias

En este apartado se resumen los organismos encargados en la gestión de emergencias que pueda tener influencia en la infraestructura proyectada en caso de desastres:

- A nivel nacional, en octubre de 2016 se creó el Sistema Nacional para la Gestión Integral del Riesgo (**SINAGIR**), cuyo objetivo es integrar acciones y articular el funcionamiento de los organismos del Gobierno nacional, los Gobiernos provinciales, de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y municipales, las organizaciones no gubernamentales y la sociedad civil, para fortalecer y optimizar las acciones destinadas a la reducción de riesgos, el manejo de la crisis y la recuperación.

  Por tanto, su finalidad es la protección integral de las personas, las comunidades y el ambiente ante la existencia de riesgos.

- La **Protección Civil** se desarrolla en la órbita de la Secretaría de Articulación Federal de la Seguridad y su objetivo principal es asistir a la Subsecretaría de Gestión del Riesgo y Protección Civil en el desarrollo de las acciones de reducción del riesgo de desastres, en su mitigación y en la reconstrucción de las áreas afectadas, promoviendo acciones de voluntariado y movilización comunitaria.

4. VISITA TÉCNICA

Los días 29 y 30 de mayo tuvo lugar la visita técnica por parte del equipo de Vialidad Nacional de Chaco y Corrientes, integrantes del BID, integrantes de la Administración Provincial del Agua (APA), y técnicos de iPresas. Durante estos días se visitó las zonas donde se ubicará la traza del puente y algunos puntos críticos que pueden ser relevantes para el estudio que se está realizando. En la Figura 4.1 se muestra una fotografía realizada durante esta visita, donde se ven algunos de los integrantes.

Figura 4.1. Fotografía de algunos integrantes de la visita técnica.

4.1. Corrientes

La visita del primer día estuvo guiada por el equipo de vialidad de Corrientes y se fue recorriendo distintos puntos donde pasará la traza proyectada. La visita comenzó en el futuro cruce entre la Ruta Nacional 12 y el puente proyectado. Posteriormente se fue recorriendo la traza proyectada del puente dirección al río Paraná, de forma que se pudo observar la existencia de cursos de agua que pudieran afectar a la infraestructura o barrios que se verán afectados por esta obra. En la Figura 4.2 se señalan los puntos donde se hicieron paradas, de forma que se puede visualizar la trayectoria seguida.

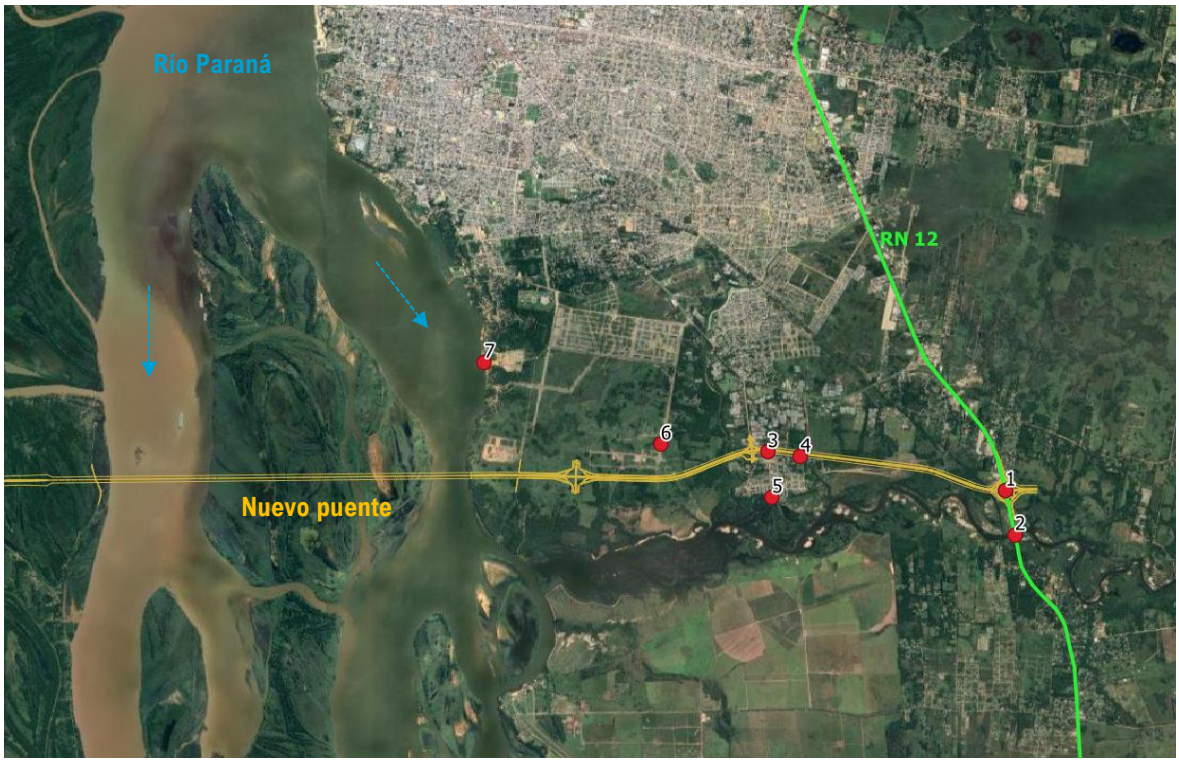


Figura 4.2. Recorrido realizado durante la visita a Corrientes.

Como se puede ver en la Figura 4.2, el recorrido comenzó en el punto donde se ubicará el distribuidor que iniciaría la traza del puente (**punto 1**), se siguió por la Ruta Nacional 12 hasta el puente donde atraviesa el Riachuelo (**punto 2**), que transcurre de forma paralela a la traza del puente. En la Figura 4.3 se muestra una vista del Riachuelo sobre el puente, en la imagen de la izquierda observa una vista hacia aguas arriba y la de la derecha hacia aguas abajo. Cabe destacar que se mencionó durante la visita que el nivel del río estaba anormalmente bajo y que usualmente el nivel del agua cubre las pilas del puente de aguas abajo.

Figura 4.3. Cruce el Riachuelo con la ruta nacional 12 - Punto 2. Vista desde aguas arriba (izq.) y aguas abajo (dcha.).

La tercera parada se realizó en el barrio de La Esperanza (**punto 3**) donde se visitó algunas zonas urbanas de este barrio que se verán afectadas por la traza del puente. Además, también se pudo observar algunos asentamientos informales en lugares que alcanzarán las obras propuestas (**punto 4**). En la Figura 4.4 se muestran unas imágenes de asentamientos visualizados en este último punto.

Figura 4.4. Asentamientos informales en el sitio de la traza del puente - Punto 4.

Posteriormente, se realizó una aproximación al Riachuelo (**punto 5**) para poder observar desde ese punto dicho curso de agua. En la Figura 4.5 se muestra en la imagen de la izquierda el camino de aproximación y algunas viviendas del barrio de La Esperanza, y en la derecha la vista del Riachuelo desde el punto 5.

Figura 4.5. Aproximación al Riachuelo desde el barrio de La Esperanza (izq.) y vista del Riachuelo (dcha.) - Punto 5.

La sexta parada fue el parque industrial Santa Catalina (**punto 6**), que se encuentra aún en construcción. La Figura 4.6 muestra la entrada a este futuro parque industrial. Desde este punto de vista, la traza del puente prevista circulará por detrás, aproximadamente a 500 metros.

Figura 4.6. Parque industrial de Santa Catalina - Punto 6.

La última parada realizada fue en un arenal donde se pudo acceder a la orilla del río Paraná (**punto 7**). Desde este punto se alcanzó a visualizar la sección de la traza prevista para el nuevo puente, mirando hacia aguas abajo, y el puente existente, mirando hacia aguas arriba. La Figura 4.7 muestra ambas vistas, siendo la de la izquierda una vista hacia aguas abajo y la de la derecha hacia aguas arriba. Merece la pena mencionar que la orilla que se visualiza al otro lado es la Isla Palomera, y no la correspondiente a la provincia de Chaco.

Figura 4.7. Vista desde la orilla del río Paraná hacia aguas abajo (izq.) y aguas arriba (dcha.) - Punto 7.

4.2.Resistencia

El segundo día de la visita estuvo organizado por el equipo de vialidad de Resistencia. Además, se contó con la colaboración de técnicos del APA, el organismo encargado de la gestión del sistema de defensas y obras de control de esta ciudad, de forma que se pudo tener una visión general del funcionamiento de este sistema.

La visita comenzó en el inicio norte de la defensa, y se fue recorriendo su coronación hasta llegar a su extremo sur. Durante este trayecto se fueron haciendo paradas en puntos de interés que han sido relevantes para un mejor entendimiento de las defensas. En la Figura 4.8 se muestras los puntos donde se efectuaron paradas.

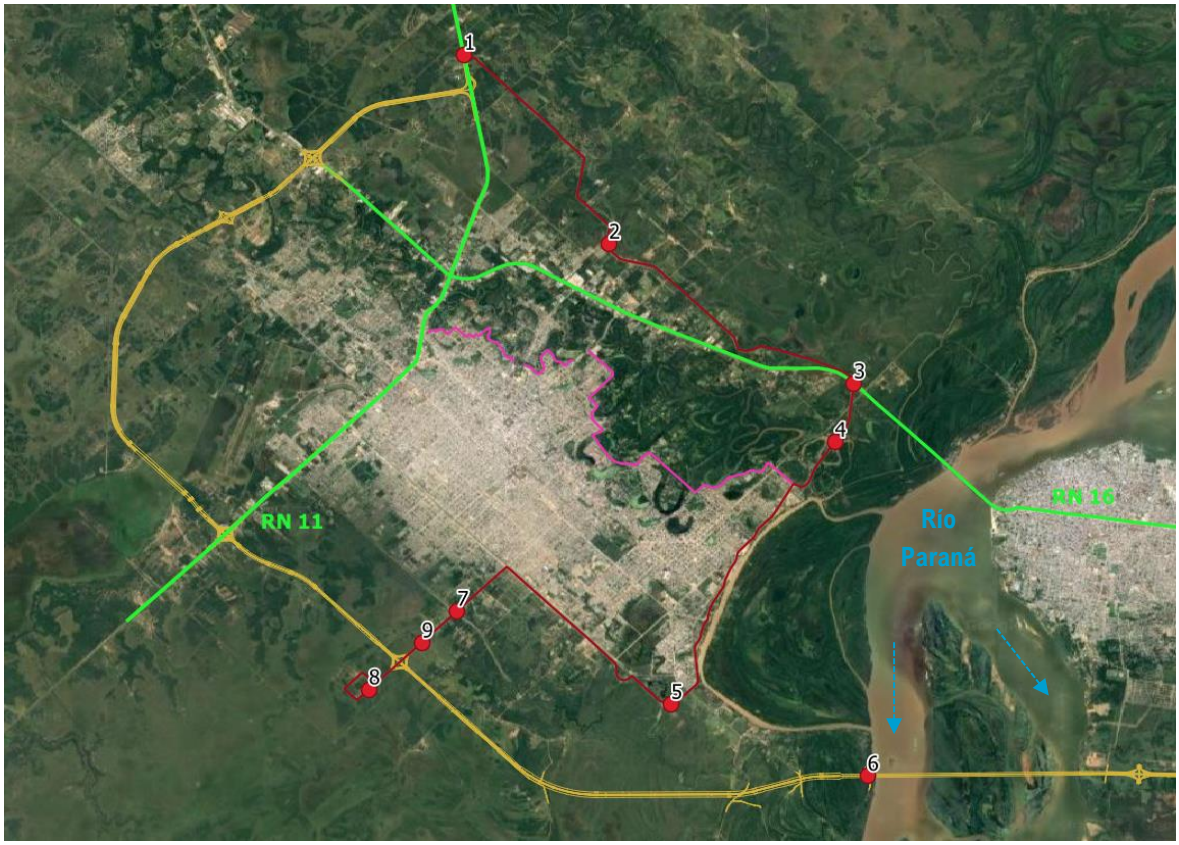


Figura 4.8. Recorrido realizado durante la visita a Resistencia.

La visita comenzó en el cruce entre la Ruta Nacional 11 y la defensa (**punto 1**), donde se pudo visualizar la ubicación donde enlazará la traza del puente, y a partir de este punto se recorrió la coronación del terraplén de la defensa. En la Figura 4.9 se muestra una imagen de la defensa (**punto 2**), donde se puede observar, en

la imagen de la derecha, como se han ido desarrollando zonas urbanas muy próximas a la defensa, y en la imagen de la izquierda, asentamientos que quedaría por fuera de la defensa.

Figura 4.9. Vista del terraplén de defensa y poblaciones muy próximas situadas fuera de la defensa (izq.) y dentro de ella (dcha.) – Punto 2.

La siguiente parada realizada fue en el cruce entre la Ruta Nacional 16 y la defensa (**punto 3**), en el punto donde el terraplén hace un quiebro y pasa a tener un trazado aproximadamente paralelo al río Paraná, pocos metros antes de cruzar dicho río por el puente existente. En la Figura 4.10 se muestra una imagen tomada desde este punto, donde se observa, a la derecha, el comienzo de la defensa que transcurre de forma paralela al río Paraná.

Figura 4.10. Cruce entre la defensa y la Ruta Nacional 16 – Punto 3.

Posteriormente, se visitó las obras de control del río Negro (**punto 4**), que se componía de un sistema de compuertas que permiten controlar el nivel del río Paraná en este punto, cerrándolas cuando el río se encuentra muy alto, para evitar un remanso hacia el río Negro que pueda producir un desbordamiento en la ciudad de Resistencia. Además, cuenta con un sistema de bombeo de una capacidad máxima de 70 m³/s de forma que se puede descargar los caudales del río Negro hacia el Paraná cuando las compuertas se encuentran cerradas. En la Figura 4.11 se muestran las compuertas desde aguas abajo (izquierda) y desde aguas arriba (derecha).

Figura 4.11. Obras de control río Negro desde aguas abajo (izq.) y desde aguas arriba (dcha.) – Punto 4.

Un mecanismo similar existe para controlar el remanso del riacho Araza (**punto 5**), donde existe una obra de control dotada por compuertas y bombas para permitir bloquear el río Paraná y descargar los caudales del riacho Araza. En la Figura 4.12 se muestra esta obra de control, mostrando en la imagen de la izquierda una visión hacia aguas abajo de este punto y en la de la derecha hacia aguas arriba. Se pudo observar asentamientos informales en la zona no protegida, es decir, aguas abajo de esta obra de control.

Figura 4.12. Obras de control Riacho Araza hacia aguas abajo (izq.) y hacia aguas arriba (dcha.) – Punto 5.

La siguiente parada se desvió del recorrido de la defensa para poder visitar la orilla del río Paraná a la altura a la que cruzará la traza del puente (**punto 6**). La imagen de la izquierda de la Figura 4.13 muestra el río Paraná hacia aguas arriba, donde se pudo visualizar a lo lejos la ciudad de Corrientes y el puente existente. Por otro lado, en esta zona se detectaron asentamientos dispersos muy próximos a la orilla del río, distinguiendo viviendas con una tipología elevada que evidencia la frecuencia de inundaciones existente en esta zona. La imagen de la izquierda de la Figura 4.13 muestra una vivienda situada en esta zona.

Figura 4.13. Orilla del río Paraná (izq.) y viviendas situadas en esta zona (dcha.) – Punto 6.

A continuación, se visitó el cruce entre la carretera de acceso a la planta de tratamiento de aguas cloacales con el Canal 16 (**punto 7**). En la Figura 4.14 se muestra este cruce desde aguas arriba, en la imagen izquierda, y hacia aguas abajo, en la imagen de la derecha.

Figura 4.14. Cruce con el Canal 16 desde aguas arriba (izq.) y aguas abajo (dcha.) – Punto 7.

Por último, se llegó hasta la planta de tratamiento de aguas cloacales (**punto 8**), que estaría situada aguas abajo de la traza del puente. Cabe destacar que el terraplén de acceso a esta planta tiene alcantarillas a lo largo de su trazado que permite el drenaje de agua de un lado al otro de la carretera. Estas alcantarillas son de aproximadamente 1.50 metros de alto y están equiespaciadas entre 120-150 metros, dando lugar a un total de 20-25 alcantarillas entre la planta y el Canal 16. La imagen de la izquierda de la Figura 4.15 muestra una fotografía de la planta de tratamiento, y la imagen de la derecha una alcantarilla situada en la carretera de acceso, aproximadamente a la altura del **punto 9**.

Figura 4.15. Planta de tratamiento de aguas cloacales (izq.) y una alcantarilla de la carretera de acceso (dcha.) – Puntos 8 y 9.

5. IDENTIFICACIÓN INDIVIDUAL DE MODOS DE FALLO

Un **modo de fallo** se define como la secuencia particular de eventos que puede dar lugar a un funcionamiento inadecuado del sistema o una parte del mismo. Esta serie de sucesos tiene una secuencia lógica, la cual consta de un evento inicial desencadenante, una serie de eventos de desarrollo o propagación y culmina con el fallo de la infraestructura, tal y como se muestra en el esquema genérico de la Figura 5.1.

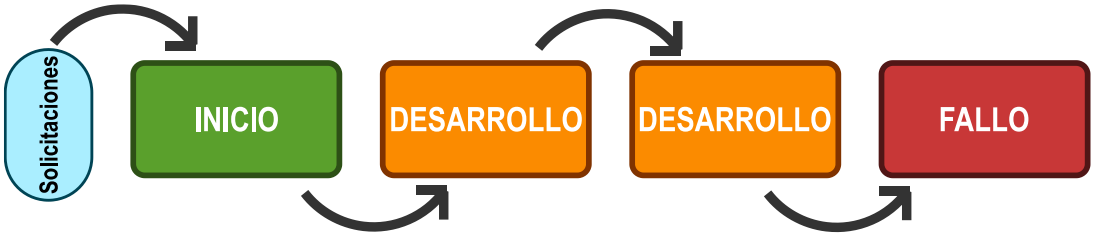


Figura 5.1. Diagrama genérico de un modo de falla.

En este proceso, se analiza cualquier modo de fallo con potencial para producir un impacto en la infraestructura que pueda tener potencial de causar consecuencias de cualquier tipo (económicos, sobre la vida humana...). En general, se suele dividir el cálculo en varios escenarios, según la amenaza natural que inicia el fallo o las consecuencias finales del fallo. En este caso, se han dividido en cinco grupos:

- **Fallos hidrológicos:** Se incluyen los fallos del puente en situación de crecida.
- **Fallos de erosión:** Se incluyen los fallos producidos por una erosión en el cauce, afectando a estribos o pilas de la infraestructura.
- **Fallos de inundaciones:** Se incluyen las situaciones en las que las consecuencias son inundaciones a zonas urbanas, producidas por causa de la infraestructura.
- **Fallos estructurales:** Se incluyen los fallos del puente de tipo estructural, causado por distintas situaciones de carga.
- **Otros modos de fallos:** En este grupo se incluyen distintos modos de fallos producido por causas variadas.

Para ello, en la sesión de mayo de 2023, cada uno de los participantes hizo una propuesta individual sobre posibles modos de falla que podrían desarrollarse en la infraestructura con el apoyo de cuadernillos de identificación de modos de fallo, como los ejemplos que se muestran en la Figura 5.2. Los cuadernillos completados por los participantes en la sesión se encuentran en el Anejo 1 del presente documento.

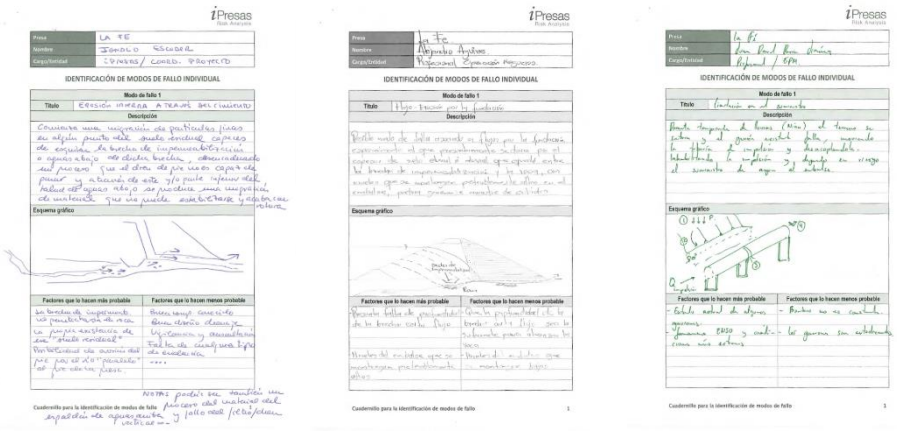


Figura 5.2. Ejemplos de cuadernillos de identificación de modos de falla completados durante las sesiones.

6. IDENTIFICACIÓN GRUPAL DE MODOS DE FALLO

Las propuestas individuales de modos de fallo se pusieron en común con el fin de eliminar redundancias y obtener modos de fallo grupales. Además, para cada modo de fallo identificado, se propusieron y discutieron los factores existentes que hacían más o menos probable su ocurrencia.

En total, tras la revisión, se identificaron **21 modos de fallo** en el puente y sus obras anexas:

- 4 modos de fallo de tipo hidrológicos.
- 2 modos de fallo relacionados con fallos por erosión.
- 4 modos de fallo relacionados con inundaciones de las zonas urbanas.
- 4 modos de fallos de tipo estructural.
- 7 modos de fallos que incluyen causas variadas.

Estos modos de fallase encuentran resumidos en la Figura 6.1 y se encuentran descritos a continuación.

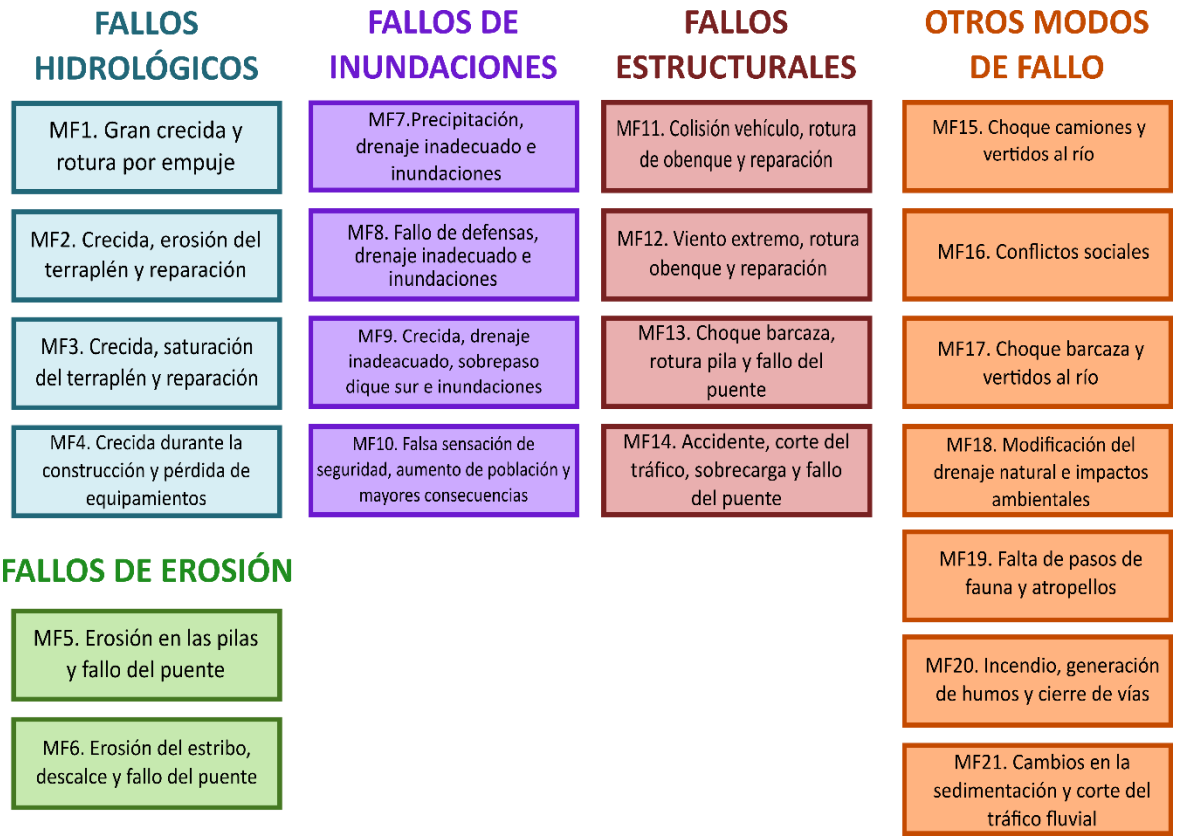


Figura 6.1. Resumen de los modos de falla identificados.

6.1.MF1: Gran crecida y rotura por empuje

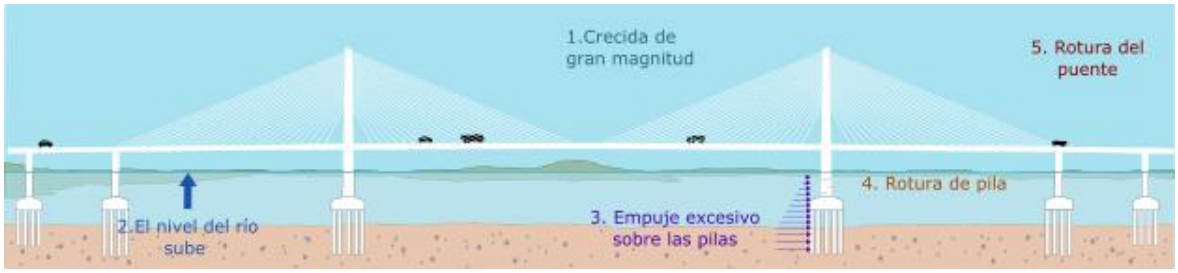
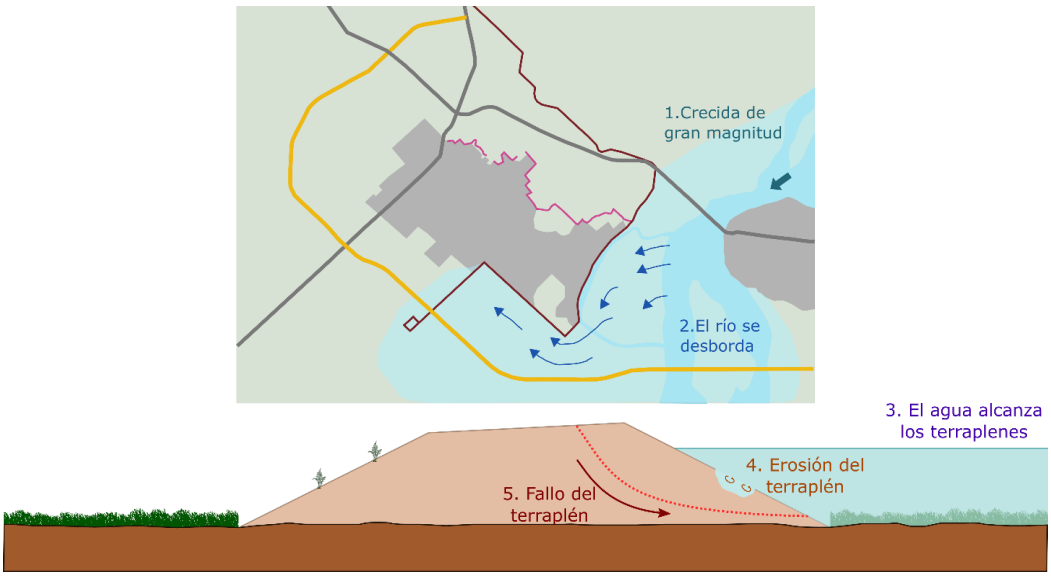
Descripción	
En escenario hidrológico, se produce una crecida de gran magnitud por el río Paraná que provoca una subida del nivel del río. Como consecuencia, existe un empuje excesivo sobre las pilas hasta que se produce el fallo de una de ellas, provocando la rotura del puente.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países. • Diseño estructural previsto para 100 años.	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA. • Gálibo de 35 m para 1000 años.

Tabla 6.1. Descripción del Modo de Fallo 1.

6.2.MF2: Crecida, erosión del terraplén y reparación

Descripción
En escenario hidrológico, hay una crecida de magnitud suficiente, que produce la subida del nivel del río Paraná. El río se desborda por su margen derecha y anega la llanura de inundación situada al sur de la ciudad de Resistencia hasta llegar al terraplén de acceso al puente. El contacto del agua con el terraplén produce erosión en las obras de drenaje, que progresa hasta que falla el terraplén por esa sección.

Esquema

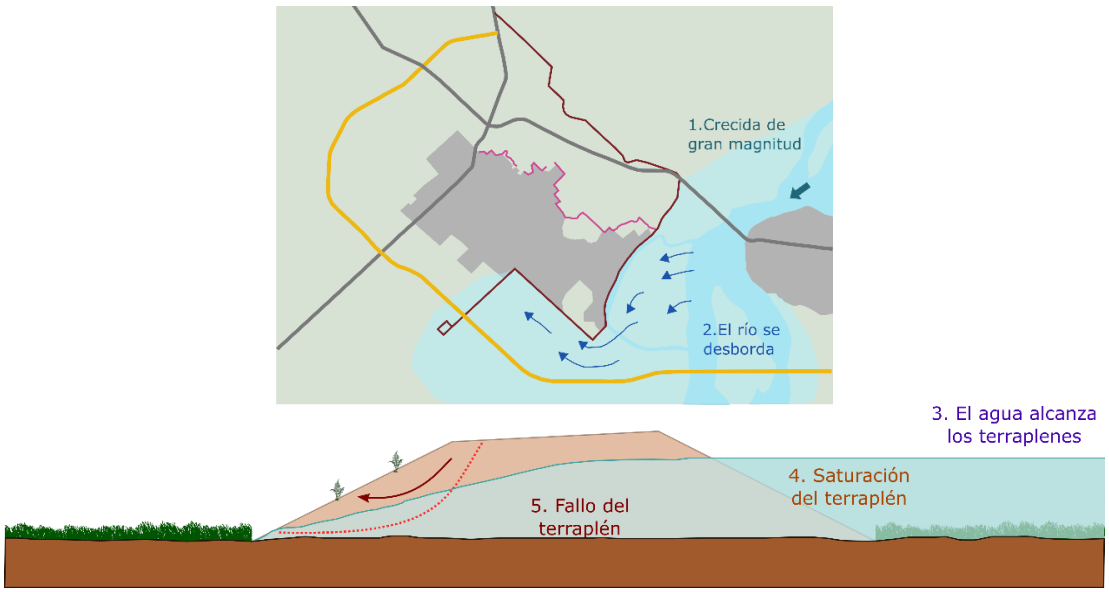


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países. • Está previsto mayor urbanización en la zona aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía. • Los terraplenes cuentan únicamente con una cobertura de vegetación como protección, que puede morir durante crecidas largas. • Asentamientos informales. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población.	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA.

Tabla 6.2. Descripción del Modo de Fallo 2.

6.3.MF3: Crecida, saturación del terraplén y reparación

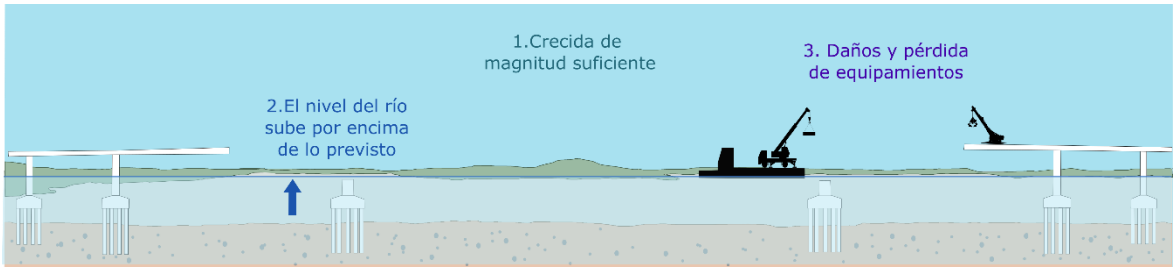
Descripción
En escenario hidrológico, se produce una crecida de magnitud suficiente y de larga duración. Como consecuencia, el nivel en la sección del puente sube y se anega la llanura donde se ubican los terraplenes de acceso. La presencia de esta agua durante un tiempo prolongado satura los terraplenes, provocando una pérdida de la protección y un fallo de los terraplenes.
Esquema



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países. • Está previsto mayor urbanización en la zona aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía. • Los terraplenes cuentan únicamente con una cobertura de vegetación como protección, que puede morir durante crecidas largas. • Asentamientos informales. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población.	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA.

Tabla 6.3. Descripción del Modo de Fallo 3.

6.4.MF4: Crecida durante la construcción y pérdida de equipamientos

Descripción
Durante la construcción, llega una crecida de magnitud mayor a lo previsto, que produce daños en el puente y pérdida de equipamientos, así como problemas en el proceso de construcción.
Esquema


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países.	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA.

Tabla 6.4. Descripción del Modo de Fallo 4.

6.5.MF5: Erosión en las pilas y fallo del puente

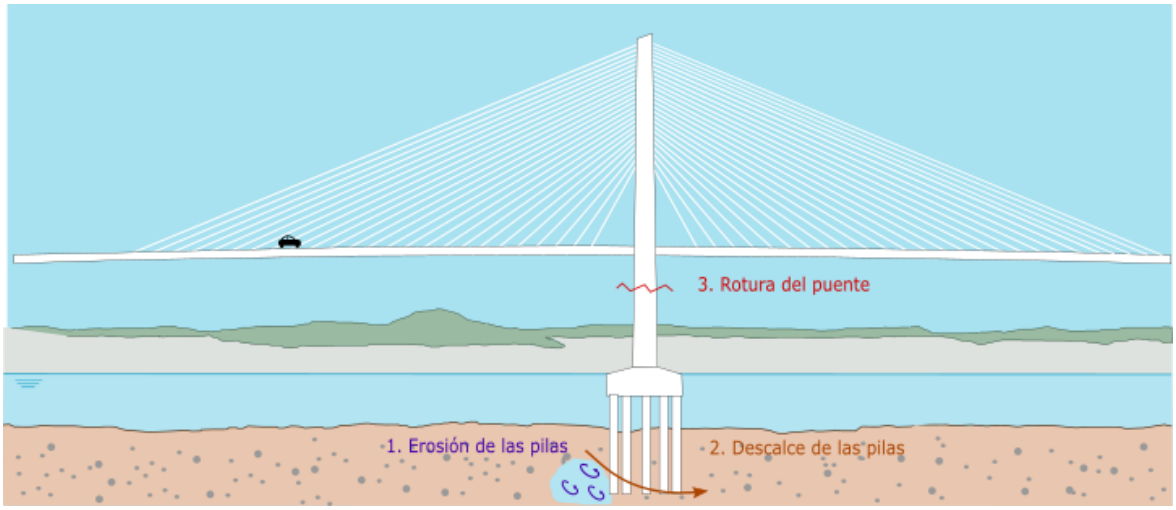
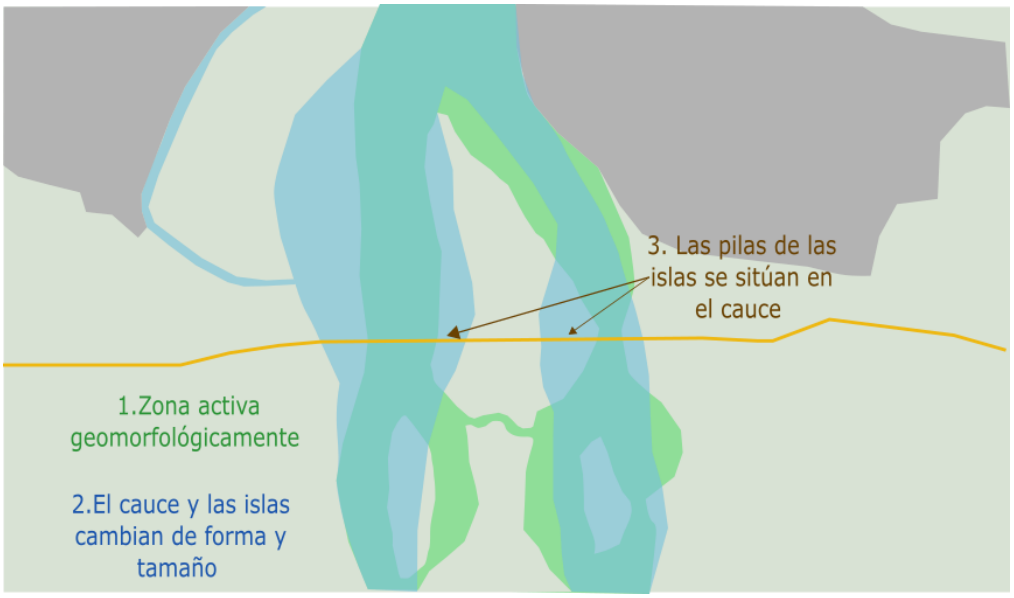
Descripción	
En escenario normal, existe un transporte de sedimentos excesivo en la sección del puente, que produce erosión localizada en las pilas del puente. Esta erosión progresa hasta provocar un descalce y rotura de una pila y el fallo del puente.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Degradación cuenca. • Existencia presas aguas arriba limitan transporte de sedimentos y aumenta riesgo de erosión. • Zona muy activa geomorfológicamente. • Existencia de socavación en puente actual muestra problemática. • Ya existe problemas de erosión en las márgenes. • Incertidumbre del proceso erosivo y su modelación. • Se observan fosas naturales a cota 15 m, lo que supone una socavación de más de diez metros (mayor de lo considerado en diseño). • Diseño no conservador en profundidad de pilotes. • Existencia de extracción de arena en el cauce cerca de la sección del puente. • No existe un plan de dragado y gestión de sedimentos. • No existe respuesta inmediata en problemas con la infraestructura.	• Socavación en el puente existente estimada en 4-6 metros en 50 años. • Proceso lento, existe opción de detección e intervención. • Posibilidad de obras de protección.

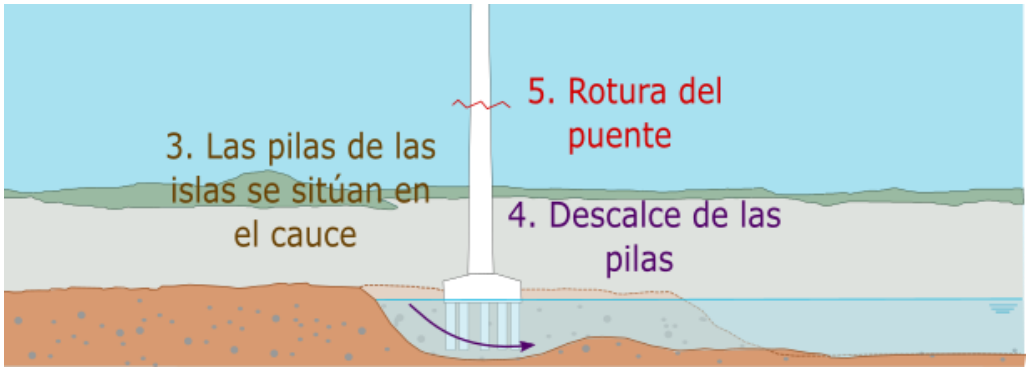
Tabla 6.5. Descripción del Modo de Fallo 5.

6.6.MF6: Erosión del estribo, descalce y fallo del puente

Descripción
La traza del puente se sitúa en una zona activa morfológicamente que ha sufrido cambios en el trazado y ancho del río y de las islas a lo largo de los años. En un escenario futuro, la isla Palomera sufre procesos de erosión y cambia de ancho, quedando algunas de las pilas sobre el cauce del río. El agua alcanza el nivel de cimentación de estas pilas, que no estaban diseñadas para situarse sobre el cauce, produciendo el descalce, el fallo de la pila y la rotura final del puente.

Esquema



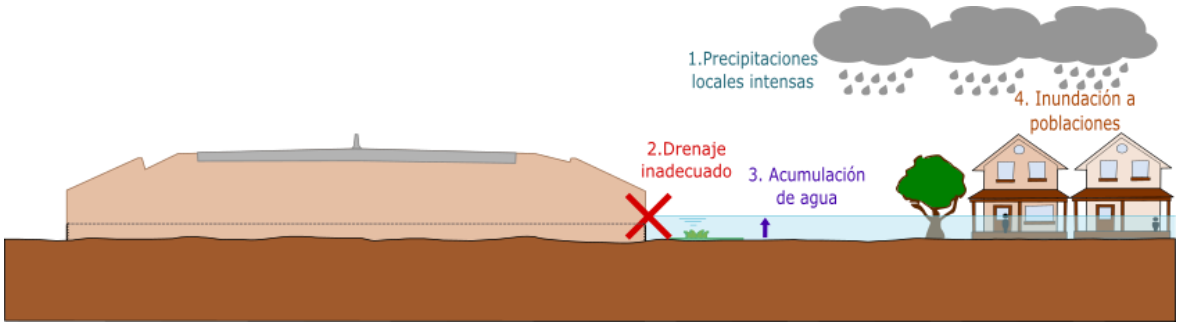


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Degradación cuenca. • Existencia presas aguas arriba limitan transporte de sedimentos y aumenta riesgo de erosión. • Zona muy activa geomorfológicamente. Se han detectado cambios significativos en el cauce y las islas a lo lago de los años. • Existencia de socavación en puente actual muestra problemática. • Ya existe problemas de erosión en las márgenes. • Incertidumbre del proceso erosivo y su	• Socavación en el puente existente estimada en 4-6 metros en 50 años. • Proceso lento, existe opción de detección e intervención. • Posibilidad de obras de protección. • Está previsto obras de protección en estribos.

modelación. • Se observan fosas naturales a cota 15 m, lo que supone una socavación de más de diez metros (mayor de lo considerado en diseño). • Diseño no conservador en profundidad de pilotes. • Existencia de extracción de arena en el cauce cerca de la sección del puente. • Navegación fluvial puede agravar procesos de erosión en márgenes. • No existe un plan de dragado y gestión de sedimentos. • El cambio climático puede tener un impacto en los caudales y en la frecuencia de incendios. • Incendios pueden disminuir vegetación y producir falta de protección. • Permanencia de agua mata vegetación y no existiría protección en los estribos y terraplenes. • No existe respuesta inmediata en problemas con la infraestructura.	

Tabla 6.6. Descripción del Modo de Fallo 6.

6.7.MF7: Precipitación, drenaje inadecuado e inundaciones

Descripción
En escenario de precipitaciones locales intensas, si las obras de drenaje transversal del terraplén de acceso al puente no tienen suficiente capacidad, el agua de escorrentía procedente de las zonas urbanas no podrá drenarse adecuadamente hacia aguas abajo. Como consecuencia, se produce una acumulación de agua aguas arriba del terraplén, subiendo el nivel y afectando a las poblaciones de la zona sur de Resistencia.
Esquema


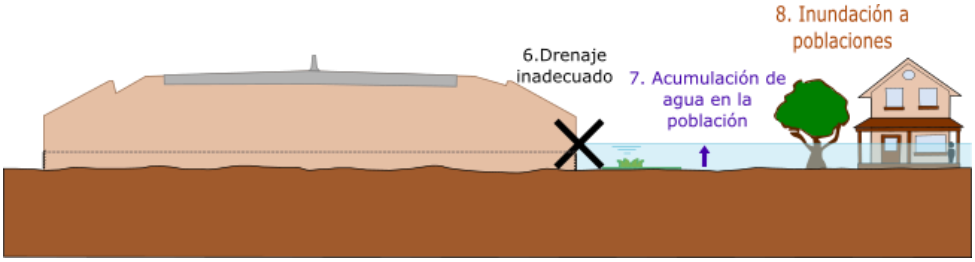
Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Está previsto mayor urbanización en la zona de aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía y consecuencias. • No se han considerado cambios en los usos del suelo para diseño de alcantarillas. • Posibilidad de pérdida de capacidad de alcantarillas por residuos y vegetación. • Complejidad desarrollo urbano. • Plan de desarrollo urbano no tiene en cuenta estudios de inundabilidad. • Zonas vulnerables frente a inundaciones. Gran dependencia del buen funcionamiento del sistema de defensa. • Asentamientos informales y presión en la zona sur de Resistencia. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población. • Viviendas no preparadas frente a inundaciones. • Los estudios de diseño no consideran la inundación local producida por ríos margen derecha, Canal 16, rio Paraná.	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA. • Estudios de alcantarillas tienen en cuenta precipitación local. • Diseño del terraplén para que sea lo más transparente posible frente a inundaciones. • Hay cultura de convivencia con las inundaciones. • Buen mantenimiento del sistema de defensas.

Tabla 6.7. Descripción del Modo de Fallo 7.

6.8.MF8: Fallo de defensas, drenaje inadecuado e inundaciones

Descripción
En escenario hidrológico, hay una crecida de gran magnitud que provoca el aumento de los niveles del río Paraná. Un fallo del sistema de compuertas impide su cierre y los altos niveles del río Paraná impide la descarga adecuada del Riacho Arazá, produciéndose un remanso del Riacho Arazá hacia aguas arriba, hasta que desborda. La presencia del terraplén de acceso al puente impide el drenaje adecuado y la permanencia de esta agua en la zona sur de Resistencia, produciéndose inundaciones y afecciones a la población.

Esquema



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países. • Está previsto mayor urbanización en la zona de aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía y consecuencias. • No se han considerado cambios en los usos del suelo para diseño de alcantarillas. • Posibilidad de pérdida de capacidad de alcantarillas	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Estudios de alcantarillas tienen en cuenta precipitación local. • Diseño del terraplén para que sea lo más transparente posible frente a inundaciones. • Hay cultura de convivencia con las inundaciones. • Buen mantenimiento del sistema de defensas.

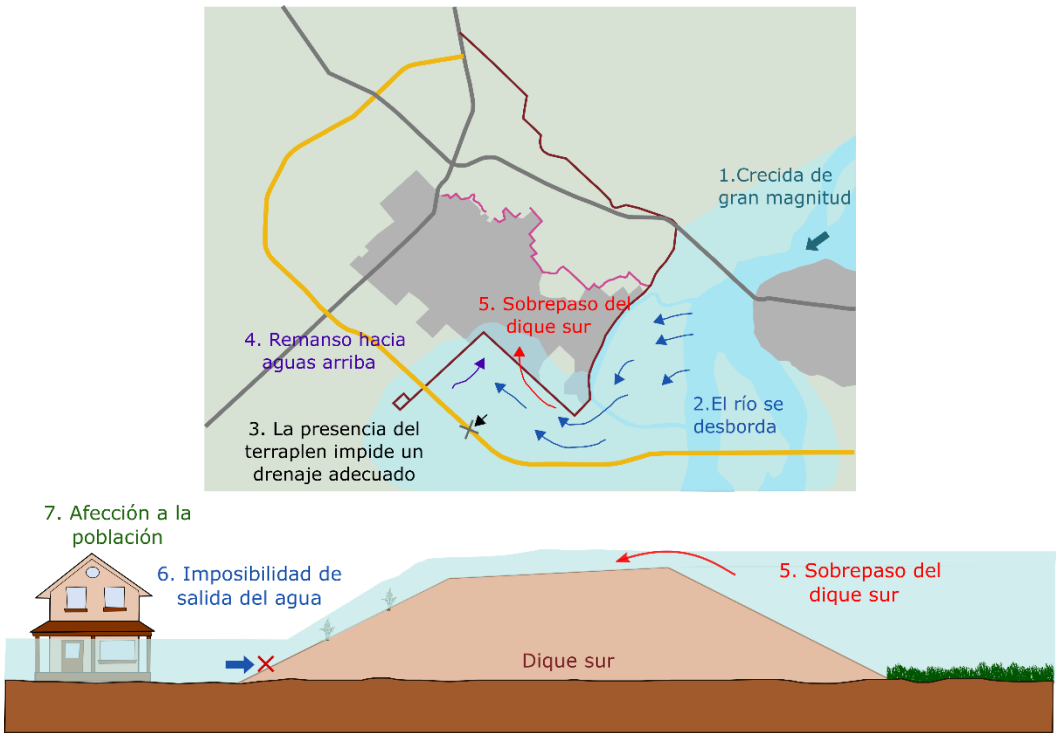
por residuos y vegetación. • Complejidad desarrollo urbano. • Plan de desarrollo urbano no tiene en cuenta estudios de inundabilidad. • Zonas vulnerables frente a inundaciones. Gran dependencia del buen funcionamiento del sistema de defensa. • Asentamientos informales y presión en la zona sur de Resistencia. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población. • Viviendas no preparadas frente a inundaciones. • Los estudios de diseño no consideran la inundación local producida por ríos margen derecha, Canal 16, rio Paraná.	

Tabla 6.8. Descripción del Modo de Fallo 8.

6.9.MF9: Crecida, drenaje inadecuado, sobrepaso dique sur e inundaciones

Descripción
En escenario hidrológico, se produce una crecida por el río Paraná que alcanza la llanura de inundación de la zona sur de Resistencia. La presencia del terraplén impide el drenaje adecuado produciendo un remanso hacia aguas arriba que acaba superando la cota del dique sur. Se produce el sobrepaso del dique sur y la imposibilidad de la salida del agua a través de este, provocando inundaciones de las poblaciones situadas dentro de la defensa.

Esquema

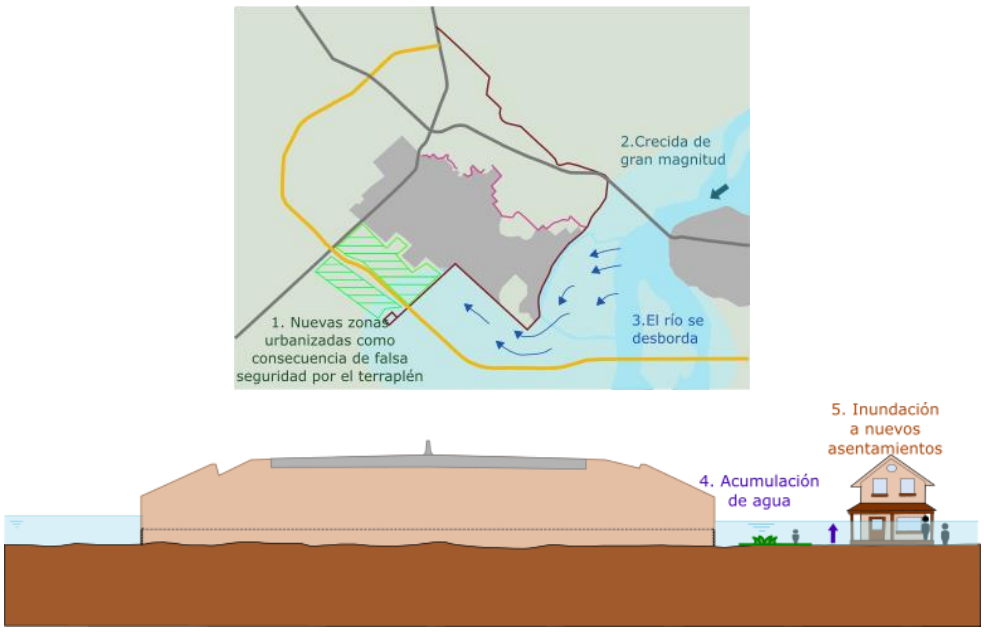


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Cambio climático puede aumentar intensidades de lluvias. • Entrada en periodo de Niño puede producir mayores inundaciones. • Degradación cuenca Paraná. • Existen presas aguas arriba y algunas de ellas en territorio binacional o brasileño (Yacyretá, Itaipú). Difícil coordinación entre entidades al no depender del gobierno de Argentina. • Falta de coordinación a escala cuenca. Se trata de una cuenca internacional que requiere coordinación entre países. • Está previsto mayor urbanización en la zona de aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía y consecuencias. • No se han considerado cambios en los usos del	• Se están haciendo estudios específicos que incluyen cambio climático. • Tiempos de crecida lentos. • Existen mediciones hidrometereológicas. • Sistema de alerta del INA. • Efecto laminador de presas aguas arriba (Itaipú). • Topografía muy plana y humedales amortiguan e impide grandes niveles en la sección del puente. • Estudios de alcantarillas tienen en cuenta precipitación local. • Diseño del terraplén para que sea lo más transparente posible frente a inundaciones. • Hay cultura de convivencia con las inundaciones. • Buen mantenimiento del sistema de defensas.

suelo para diseño de alcantarillas. • Posibilidad de pérdida de capacidad de alcantarillas por residuos y vegetación. • Complejidad desarrollo urbano. • Plan de desarrollo urbano no tiene en cuenta estudios de inundabilidad. • Zonas vulnerables frente a inundaciones. Gran dependencia del buen funcionamiento del sistema de defensa. • Asentamientos informales y presión en la zona sur de Resistencia. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población. • Viviendas no preparadas frente a inundaciones. • Los estudios de diseño no consideran la inundación local producida por ríos margen derecha, Canal 16, rio Paraná.	

Tabla 6.9. Descripción del Modo de Fallo 9.

6.10.MF10: Falsa sensación de seguridad, aumento de población y mayores consecuencias

Descripción
Se produce un crecimiento de la población en la zona sur de Resistencia, como consecuencia de una falsa sensación de protección producida por la presencia de los terraplenes de acceso al puente. En este escenario, en caso de desbordamientos o fallos aumenta las afecciones.
Esquema


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Está previsto mayor urbanización en la zona de aguas arriba de la traza del puente que puede aumentar coeficientes de escorrentía y consecuencias. • Complejidad desarrollo urbano. • Plan de desarrollo urbano no tiene en cuenta estudios de inundabilidad. • Zonas vulnerables frente a inundaciones. Gran dependencia del buen funcionamiento del sistema de defensa. • Asentamientos informales y presión en la zona sur de Resistencia. • Posibilidad de ocupación del terraplén por desconocimiento por parte de la población. • Viviendas no preparadas frente a inundaciones.	• Sistema de alerta del INA. • Diseño del terraplén para que sea lo más transparente posible frente a inundaciones. • Hay cultura de convivencia con las inundaciones. • Buen mantenimiento del sistema de defensas.

Tabla 6.10. Descripción del Modo de Fallo 10.

6.11.MF11: Colisión vehículo, rotura de obenque y reparación

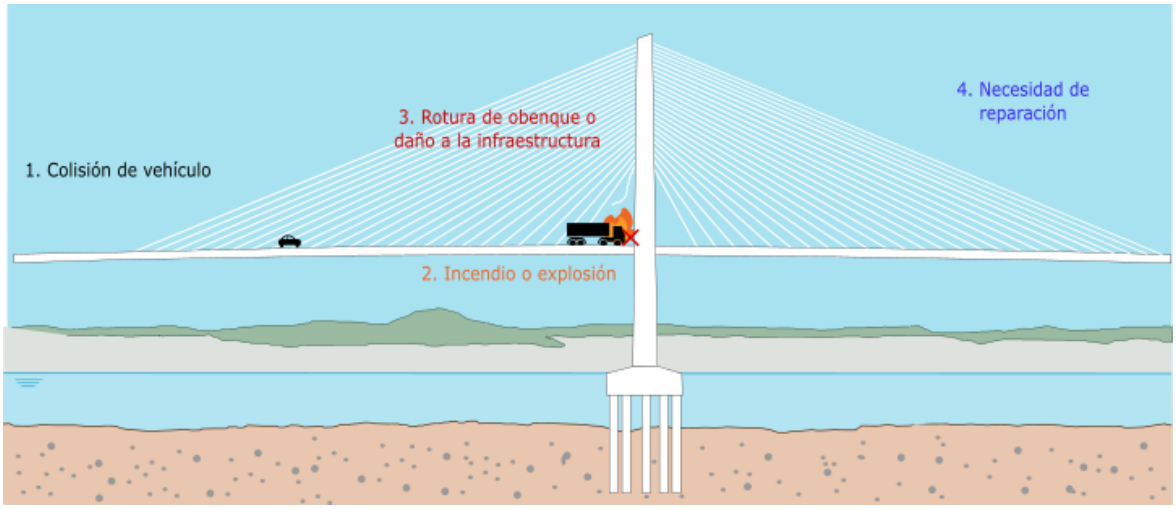
Descripción	
La colisión de un vehículo produce un incendio o explosión que daña la infraestructura o produce la rotura de un obenque y la necesidad de reparación.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Historial de impactos sobre puente existente. • Aumento de tráfico puede aumentar riesgo de incendio.	• Diseño estructural tiene en cuenta rotura de obenque. • Impactos producidos en puente existente no han tenido grandes impactos. • Existencia de Plan de Contingencia ante incidentes en el puente.

Tabla 6.11. Descripción del Modo de Fallo 11.

6.12.MF12: Viento extremo, rotura obenque y reparación

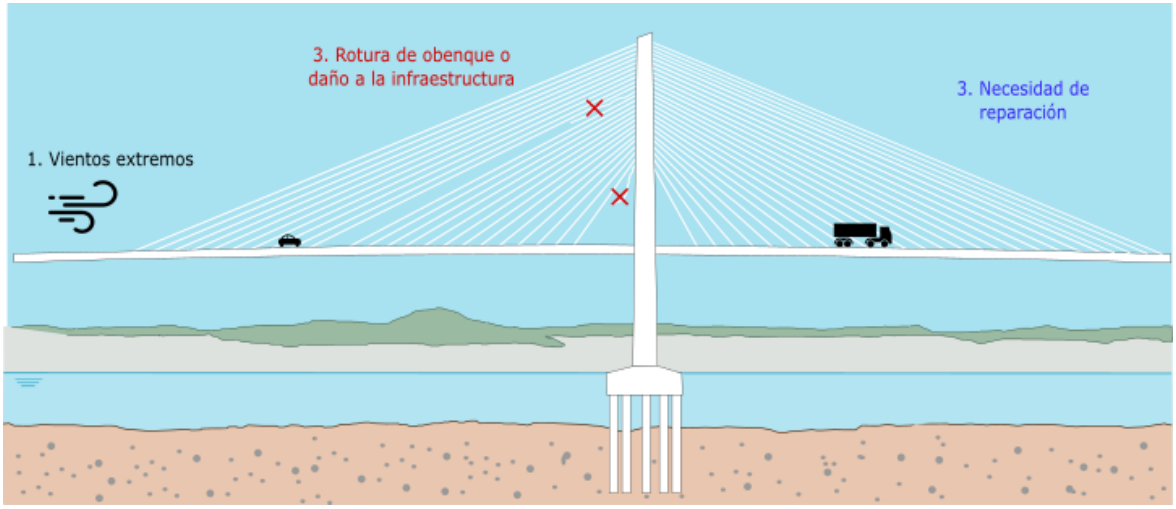
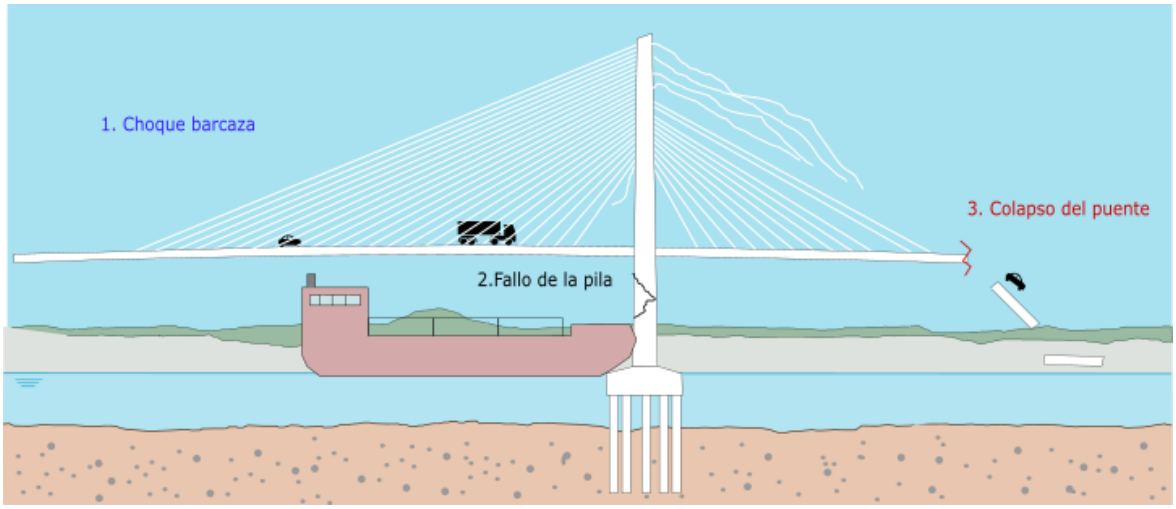
Descripción	
Debido a vientos extremos sobre la infraestructura, se produce la rotura de un obenque y la necesidad de reparación.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Incertidumbre actual sobre incidencia del viento. • Diseño de viento para periodo de retorno 100 años, siendo la vida útil del puente 100 años.	• Diseño estructural tiene en cuenta rotura de obenque. • Diseño para viento a más de 150 km/h.

Tabla 6.12. Descripción del Modo de Fallo 12.

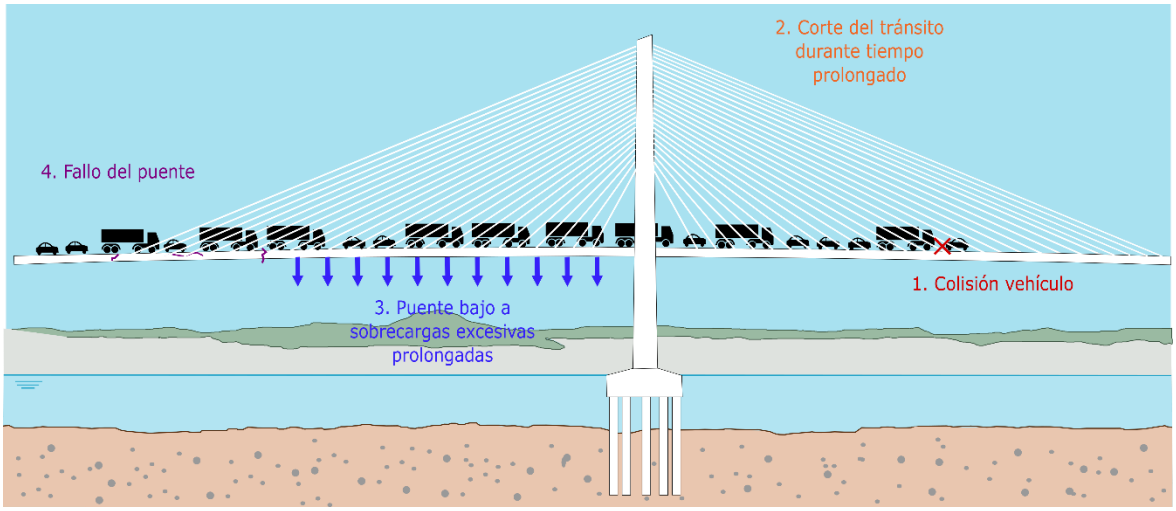
6.13.MF13: Choque barcaza, rotura pila y fallo del puente

Descripción
El choque de una barcaza contra una pila no protegida de los viaductos de acceso provoca su rotura y el fallo del puente.
Esquema


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Historial de impactos sobre puente existente.	• Diseño contempla choque de barcazas sobre pilas. • Impactos producidos en puente existente no han tenido grandes impactos.

Tabla 6.13. Descripción del Modo de Fallo 13.

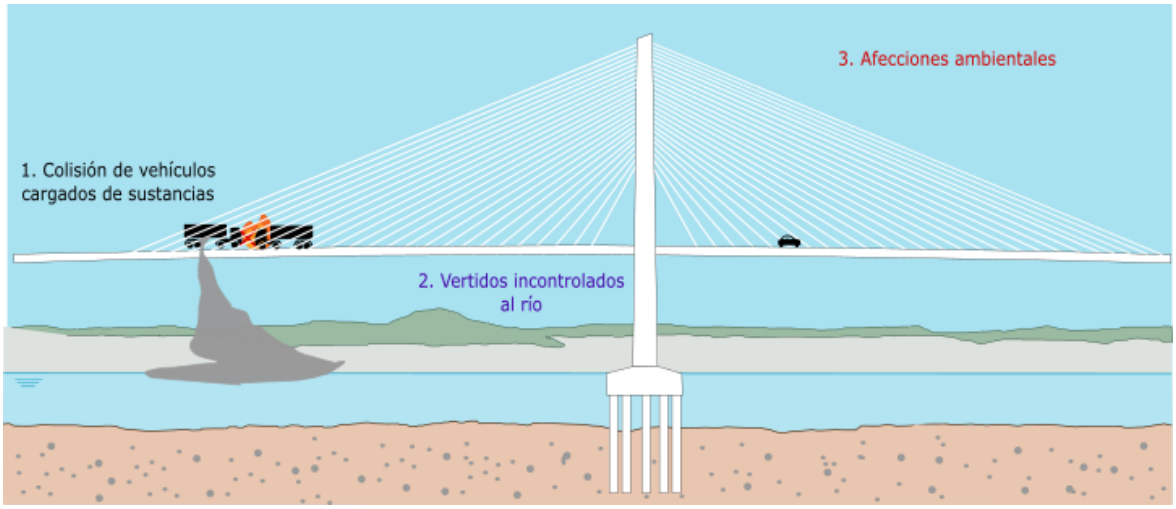
6.14.MF14: Accidente, corte del puente, sobrecarga y fallo del puente

Descripción
Un accidente en el puente produce el corte de su tránsito durante un tiempo prolongado. Como consecuencia, la infraestructura se ve sometida a una sobrecarga excesiva durante un tiempo mayor al previsto en diseño que acaba provocando la rotura.
Esquema


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Aumento de tráfico puede aumentar riesgo de accidentes. • En caso de accidentes permanece el tráfico durante varias horas antes de desalojar. • Historial de accidentes sobre puente existente indica que se tarda tiempo en desalojar.	• En el diseño se ha previsto la sobrecarga por tráfico. • Accidentes producidos en puente existente no han tenido grandes impactos. • El puente proyectado tendrá doble vía.

Tabla 6.14. Descripción del Modo de Fallo 14.

6.15.MF15: Choque camiones y vertidos al río

Descripción
Se produce el choque de dos vehículos que transportan sustancias contaminantes, provocando el vertido incontrolado al río y la afección a la calidad del agua, a la flora y a la fauna.
Esquema


Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• Está previsto el tránsito de camiones y vehículos de transporte de mercancías.	• Existencia de Plan de Contingencia ante accidentes en el puente.

Tabla 6.15. Descripción del Modo de Fallo 15.

6.16.MF16: Conflictos sociales

Descripción	
La obra del puente provoca la necesidad de expropiar determinadas zonas donde se ubicará su trazado. En consecuencia, las poblaciones pueden tender a localizarse en esas áreas con el objetivo de ser reubicadas, dando lugar a conflictos sociales.	
Esquema	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Posibilidad de intereses para ocupar la traza del puente. • Asentamientos informales y presión en la zona sur de Resistencia.	

Tabla 6.16. Descripción del Modo de Fallo 16.

6.17.MF17: Choque barcaza y vertidos al río

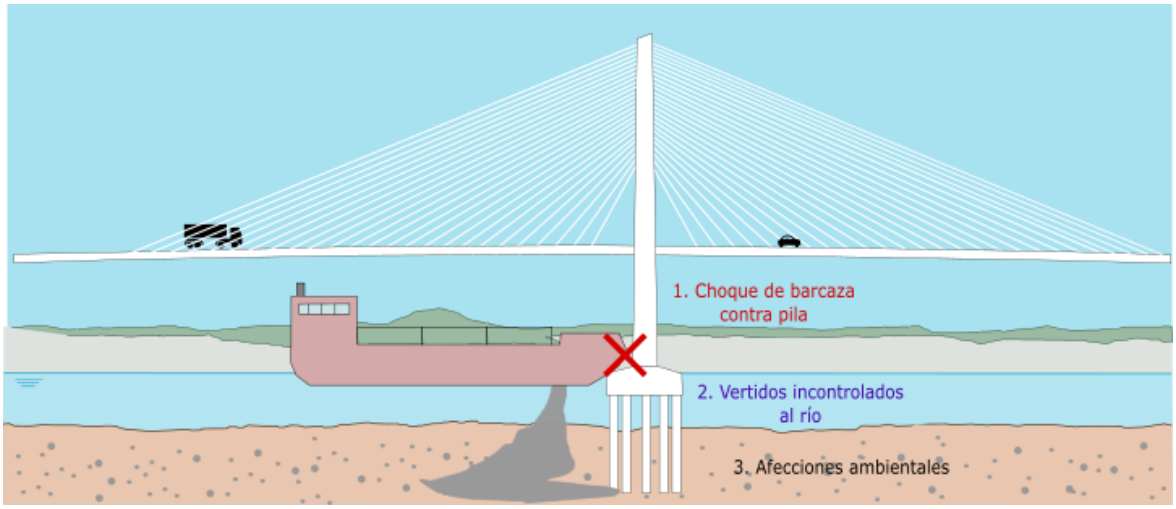
Descripción	
Se produce el impacto de una barcaza contra una pila del puente, provocando el vertido incontrolado de sustancias contaminantes al río y afecciones ambientales.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Existe tráfico fluvial de mineral de hierro.	• Gálibo horizontal en diseño tiene en cuenta las dimensiones de los barcos que transitarán.

Tabla 6.17. Descripción del Modo de Fallo 17.

6.18.MF18: Modificación del drenaje natural e impactos ambientales

Descripción	
La presencia del puente y los terraplenes de acceso provoca el cambio del drenaje natural de la llanura donde se sitúa, teniendo como consecuencia impactos ambientales durante sequías por pérdida de reservas naturales.	
Esquema	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Traza del terraplén de acceso atraviesa humedales y áreas de zona Ramsar.	

Tabla 6.18. Descripción del Modo de Fallo 18.

6.19.MF19: Falta de pasos de fauna y atropellos

Descripción
La presencia del puente y los terraplenes de acceso impide el tránsito de fauna obligándolos a atravesar la vía por su superficie teniendo, como consecuencia, atropellos de fauna.
Esquema

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
• La traza del terraplén de acceso se ubica en zona Ramsar donde existe un corredor biológico de animales.	• El diseño de las alcantarillas está previsto para el paso de animales.

Tabla 6.19. Descripción del Modo de Fallo 19.

6.20.MF20: Incendio, generación de humos y cierre de vías

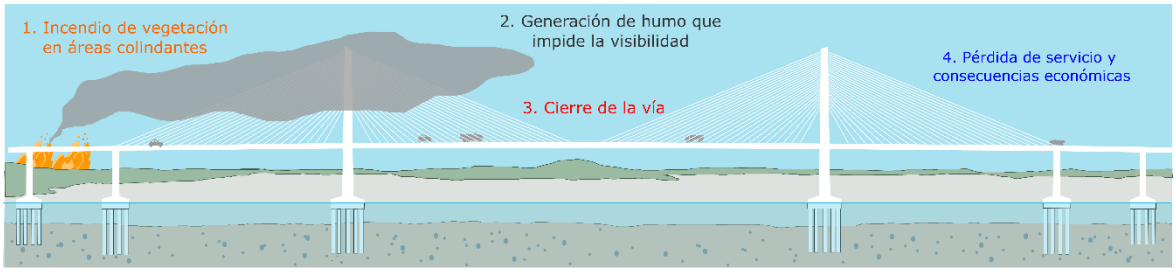
Descripción	
Se produce un incendio en las áreas colindantes al puente. La generación de humo excesivo impide la visibilidad y obliga al cierre de la vía, produciendo la pérdida del servicio y consecuencias económicas.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Amplio historial de incendios en la zona ha provocado consecuencias similares en el puente existente. • Historial de incendios en los últimos años (12% de provincia de Corrientes). • Aumento de temperaturas por cambio climático puede aumentar la frecuencia de incendios. • Aumento de tráfico puede aumentar riesgo de incendio.	

Tabla 6.20. Descripción del Modo de Fallo 20.

6.21.MF21: Cambios en la sedimentación e impedimento de tráfico fluvial

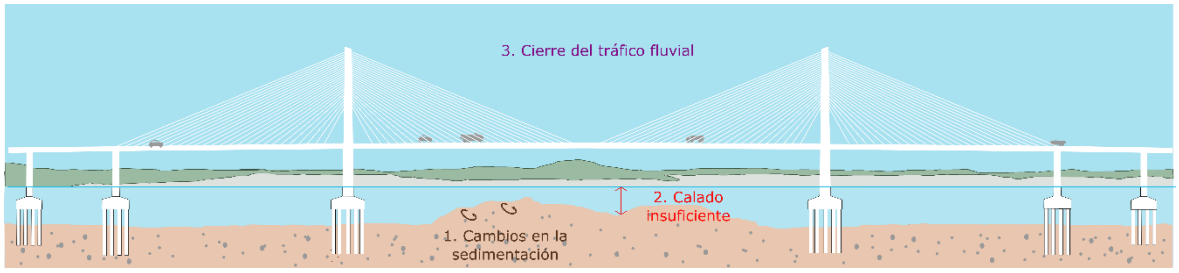
Descripción	
La presencia del puente obliga a que el tráfico fluvial se realice siempre en la misma sección habilitada para tal fin. Cambios en la sedimentación y erosión del lecho pueden producir aumentos de sedimentos y el incumplimiento del calado suficiente para el tránsito de barcos, obligando al corte del tráfico fluvial y consecuencias económicas.	
Esquema	
	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
• Zona muy activa geomorfológicamente. • No existe un plan de dragado y gestión de sedimentos.	

Tabla 6.21. Descripción del Modo de Fallo 21.

7. CLASIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO

Los modos de fallo (MF) identificados por el grupo de trabajo se clasificaron según su probabilidad de fallo, sus consecuencias potenciales y su grado de incertidumbre. Esta clasificación es la base de la propuesta de acciones y necesidades de investigación que se explican en el siguiente apartado.

Para cada modo de fallo identificado, los participantes clasificaron la **probabilidad de fallo** en una de las siguientes cinco categorías:

- **Nivel P1:** Probabilidad remota. Deben ocurrir varias cosas muy poco probables juntas o incluso físicamente imposible. Probabilidad menor de 10^{-4} (T= 10,000 años).
- **Nivel P2:** Probabilidad baja. Debe darse un evento de muy baja probabilidad y es muy difícil que se dé durante La vida útil de la infraestructura. Probabilidad anual entre 10^{-4} y 10^{-3} (entre T=10,000 años y T=1,000 años).
- **Nivel P3:** Probabilidad media. No es poco probable que ocurra durante la vida útil de la infraestructura. Probabilidad anual entre 10^{-3} y 10^{-2} (entre T=1,000 años y T=100 años).
- **Nivel P4:** Probabilidad alta. Es muy probable que ocurra durante la vida útil de la infraestructura. Probabilidad anual entre 10^{-2} y 10^{-1} (entre T=100 años y T=10 años).
- **Nivel P5:** Probabilidad muy alta. Es prácticamente cierto que ocurrirá durante la vida útil de la infraestructura. Probabilidad anual entre 10-1 y 1 (entre T=10 años y T=1 año).

Seguidamente, los participantes clasificaron las **consecuencias** de la ocurrencia de cada MF en cinco categorías:

- **Nivel C1:** Pequeña reparación. Reparación de menor entidad o acciones de mantenimiento. Coste estimado menor que 500,000 US$.
- **Nivel C2:** Gran reparación. Necesidad de una reparación de gran entidad. Coste estimado entre 500,000 US$ y 10 MUS$.
- **Nivel C3:** Inviabilidad de infraestructura. Destrucción total o parcial de gran parte de la infraestructura. Coste estimado entre 10M US$ y 500 US$.
- **Nivel C4:** Gran afección económica. Elevados impactos económicos a escala regional y nacional. Coste estimado mayor que 500M US$.
- **Nivel C5:** Pérdida de vidas. Pérdida de vidas no accidental como consecuencia directa del fallo.

Finalmente, basándose en la información disponible, los participantes clasificaron la **incertidumbre** asociada a las estimaciones realizadas para cada MF:

- **Nivel I1:** Incertidumbre baja.
- **Nivel I2:** Incertidumbre media.
- **Nivel I3:** Incertidumbre alta.

En el Anejo 2 de este informe se incluyen los resultados obtenidos tras la clasificación individual de los modos de fallo. En esta fase, cada participante clasificó cada modo de fallo según las tres categorías mencionadas (probabilidad, consecuencias e incertidumbre), dando lugar a gráficos donde cada punto es la respuesta cada participante.

Posteriormente, estas clasificaciones fueron debatidas entre el grupo para otorgar a cada modo de fallo una respuesta común de grupo y obtener una clasificación global de todos los modos de fallo. La categorización finalmente obtenida se muestra en la Tabla 7.1 y se representa en la Figura 7.1.

Según los resultados, se deduce que aquellos modos de fallo que más riesgo suponen son el modo de fallo 5, relacionado con la erosión de las pilas; los modos de fallo 8 y 9, relacionado con problemas de inundaciones derivados de un drenaje inadecuado del terraplén del puente; y el modo de fallo 14, que considera la rotura del puente debido a una sobrecarga como consecuencia a una respuesta lenta en caso de accidente.

		Clasificación de Modos de Fallo		
		Probabilidad de fallo	Consecuencias	Incertidumbre
MF1:	Gran crecida y rotura por empuje	Baja/ Remota Nivel P 1-2	Invialidad/ Gran afección económica Nivel C 3-4	Baja/Media Nivel I 2
MF2:	Crecida, erosión del terraplén y reparación	Media Nivel P 3	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2
MF3:	Crecida, saturación del terraplén y reparación	Media Nivel P 3	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2
MF4:	Crecida durante la construcción y pérdida de equipamientos	Media Nivel P 3	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2
MF5:	Erosión en las pilas y fallo del puente	Media Nivel P 3	Invialidad Nivel C 3	Media Nivel I 2
MF6:	Erosión del estribo, descalce y fallo del puente	Media/Baja Nivel P 3-2	Gran reparación/Invialidad Nivel C 2-3	Media Nivel I 2
MF7:	Precipitación, drenaje inadecuado e inundaciones	Media Nivel P 3	Gran reparación Nivel C 2	Media/Alta Nivel I 2-3
MF8:	Fallo defensas, drenaje inadecuado e inundaciones	Media/Baja Nivel P 3-2	Invialidad/ Gran afección económica Nivel C 3-4	Media/Alta Nivel I 2-3
MF9:	Crecida, drenaje inadecuado, sobrepaso dique sur e inundaciones	Media/Baja Nivel P 3-2	Gran afección económica Nivel C 4	Media Nivel I 2
MF10:	Falsa sensación de seguridad, aumento de la población y mayores consecuencias	Media/Alta Nivel P 3-4	Gran reparación/Invialidad Nivel C 2-3	Media Nivel I 2
MF11:	Colisión vehículo, rotura de obenque y reparación	Media/Baja Nivel P 3-2	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2
MF12:	Viento extremo, rotura obenque y reparación	Baja Nivel P 2	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2
MF13:	Choque barcaza, rotura pila y fallo del puente	Remota Nivel P 1	Gran reparación/Invialidad Nivel C 2-3	Media/Baja Nivel I 2-1
MF14:	Accidente, corte del puente, sobrecarga y fallo del puente	Baja Nivel P 2	Pérdida de vidas Nivel C 5	Media Nivel I 2
MF15:	Choque camiones y vertidos al río	Media Nivel P 3	Pequeña reparación Nivel C 1	Media Nivel I 2
MF16:	Conflictos sociales	Alta Nivel P 4	Pequeña o gran reparación Nivel C 1-2	Media Nivel I 2
MF17:	Choque barcaza y vertidos al río	Media/Alta Nivel P 3-4	Pequeña o gran reparación Nivel C 1-2	Media Nivel I 2
MF18:	Modificación del drenaje natural e impactos ambientales	Media Nivel P 3	Pequeña o gran reparación Nivel C 1-2	Media Nivel I 2
MF19:	Falta de pasos de fauna y atropello	Alta/Media Nivel P 4-3	Pequeña reparación Nivel C 1	Media Nivel I 2
MF20:	Incendio, generación de humos y cierre de vías	Alta Nivel P 4	Pequeña o gran reparación Nivel C 1-2	Media/Baja Nivel I 2-1
MF21:	Cambios en la sedimentación e impedimento del tráfico fluvial	Media Nivel P 3	Gran reparación Nivel C 2	Media Nivel I 2

Tabla 7.1. Clasificación de los modos de fallo.

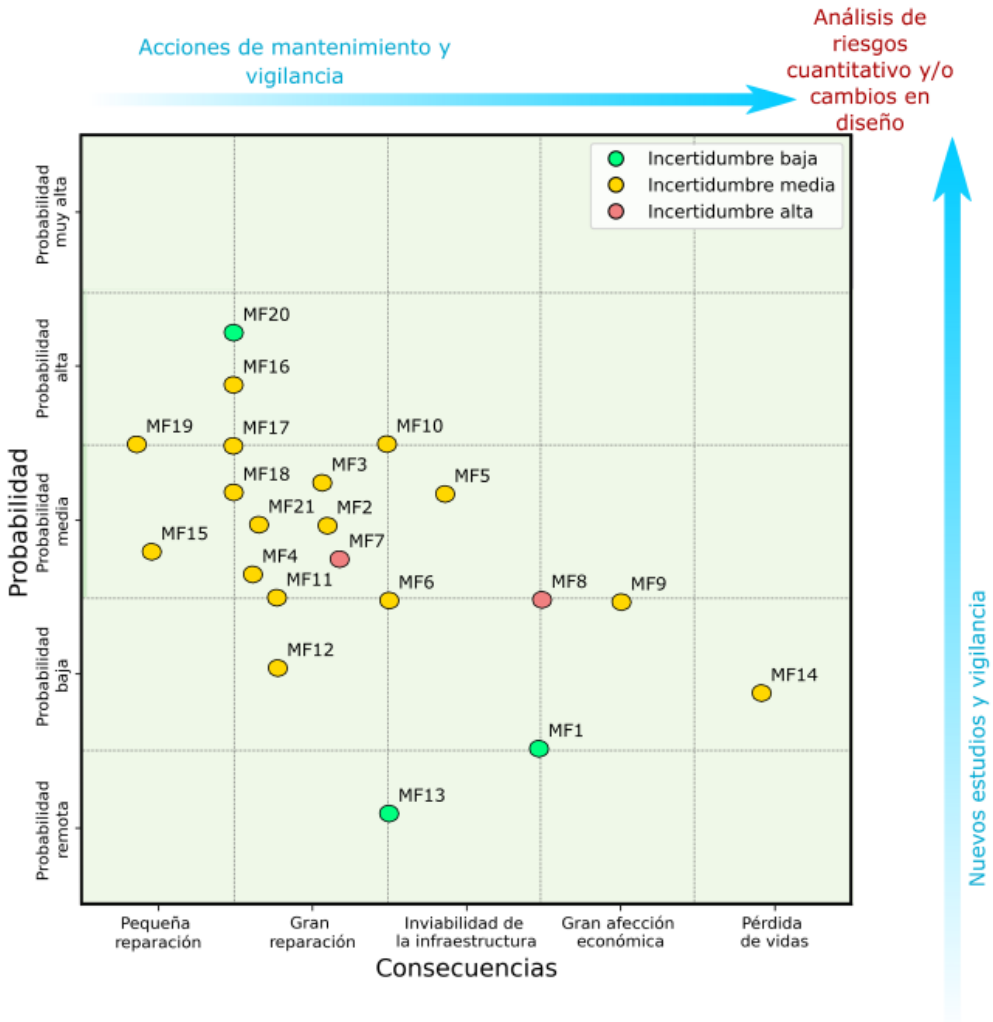


Figura 7.1. Clasificación de los modos de fallo.

8. RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS DE ACCIÓN

Tras el proceso de identificación de modos de fallo se proponen una serie de **recomendaciones**, las que se identifican tanto acciones, como nuevos estudios que reduzcan la incertidumbre y mejoren el conocimiento global de la infraestructura y de las amenazas naturales a las que pueda estar sometida. Dichas recomendaciones pueden clasificarse en varios grupos:

- Recomendaciones para llevar a cabo en la **fase de diseño**, es decir, a tener en cuenta en el proyecto.
- Recomendaciones para llevar a cabo en la **fase de construcción**.
- Recomendaciones para tener en cuenta en la **fase de operación y mantenimiento** de la infraestructura, una vez se hayan completado las obras.
- Recomendaciones para la **gestión general del riesgo** que involucran la coordinación con otras entidades.

A continuación, se presentan las recomendaciones planteadas, agrupadas en función de la fase en que se aplica: Fase de diseño, fase de construcción, fase de operación y mantenimiento y recomendaciones para la gestión general del riesgo.

FASE DE DISEÑO:

- Se recomienda incluir escenarios que consideren el efecto del **cambio climático** en las solicitaciones hidrológicas. Afecta a los modos de fallo: **MF1, MF2, MF3, MF7, MF8, MF9.**
- Se recomienda reforzar los análisis **hidrológicos-hidráulicos** de las cuencas de aporte a las alcantarillas para considerar el efecto de precipitaciones locales en este área y posibles aportes de caudales de las cuencas situadas al oeste que tienen dirección de escurrimiento hacia dichas cuencas de aporte, teniendo en cuenta la impermeabilización de estas cuencas debido al plan de desarrollo urbano existente. Además, se deben combinar estos escenarios con distintas crecidas por el río Paraná. Afecta a los modos de fallo: **MF7, MF8 y MF9.**
- Se sugiere evaluar y cuantificar el nivel al que se produciría el **desborde de la defensa sur** y su relación con el caudal circulante por el río Paraná, de forma que se pueda asociar a los periodos de retorno analizados. Afecta al modo de fallo: **MF9.**
- En relación con los estudios **hidráulicos**, se recomienda actualizarlos para considerar el trazado real de la defensa y otros elementos que pueden modificar el flujo de agua en la zona, como el terraplén de acceso a la planta de tratamiento de aguas cloacales y sus respectivas alcantarillas. Afecta a los modos de fallo: **MF7, MF8, MF9 y MF18.**
- En cuanto a los estudios **geotécnicos**, se recomienda tener en cuenta en el diseño, geometría y materiales de los taludes de los terraplenes la posibilidad de estar saturados durante varias semanas. Afecta a los modos de fallo: **MF3.**
- Se debe reforzar los estudios y modelaciones de los **procesos erosivos** en el proyecto ejecutivo, incluso con modelos físicos. Afecta a los modos de fallo: **MF5, MF6 y MF21.**
- Se recomienda reforzar las entradas y salidas de las alcantarillas para evitar problemas de erosión. Afecta a los modos de fallo: **MF2.**
- En cuanto a los **cálculos estructurales**, se recomienda considerar periodos de retorno mayores a 100 años en fenómenos de vientos y empujes de agua. En este aspecto, se sugiere evaluar el

comportamiento del puente en túneles de viento para estudiar la resonancia. Afecta a los modos de fallo: **MF1 y MF12.**

- Teniendo en cuenta el contexto **socioambiental,** se indica la necesidad de fortalecer los estudios sociales sobre asentamientos informales y evitar la posibilidad de reocupación de las zonas desalojadas por efecto del puente proyectado. Afecta a los modos de fallo: **MF10 y MF16.**
- Se debe tener en cuenta en el **diseño de las alcantarillas** la conectividad de los hábitats, de forma que puedan ser empleadas como pasos de fauna. Además, las alcantarillas se deben adecuar al medio de tal manera que no modifiquen las condiciones de humedad existentes, teniendo en cuenta que se localiza en un hábitat crítico de zona Ramsar. Afecta a los modos de fallo: **MF18 y MF19.**
- Por último, se recomienda realizar un **análisis de riesgos cuantitativo completo**, con el objetivo de cuantificar el perfil de riesgo base (actual sin puente), el futuro (condiciones actuales con puente) y tendencial (condiciones futuras con puente). De esta forma justificar debidamente que no se está exacerbando el riesgo en las zonas colindantes ni transfiriendo el riesgo a terceros. Afecta a los modos de fallo: **TODOS.**

FASE DE CONSTRUCCIÓN:

- El proyecto debe considerar los riesgos durante el **proceso de construcción**, evaluando el periodo de retorno que se tiene en cuenta durante esta etapa. Igualmente, debe quedar definido un **protocolo** de seguimiento de niveles y actuaciones para este proceso, existiendo una coordinación con vías navegables. Afecta a los modos de fallo: **MF4.**

FASE DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO:

- Durante la explotación de la infraestructura se debe tener especial atención a los **taludes** y a los procesos de erosión en las alcantarillas, reforzando la vigilancia cuando estos están saturados, incluso con instrumentación o topografía. Afecta a los modos de fallo: **MF2 y MF3.**
- En este sentido, se debe definir un protocolo de vigilancia y acción ante **erosiones del río**, implementando inspecciones y mediciones periódicas, como, por ejemplo, batimetrías en el río. Se recomienda acentuar los esfuerzos en instrumentación para conocer la erosión localizada en las pilas, como, por ejemplo, con instrumentación de tipo ADSP. En cuanto a los cambios en el trazado del río, se sugiere su control a partir de imágenes satelitales. Afecta a los modos de fallo: **MF5, MF6 y MF21.**

RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN GENERAL DEL RIESGO:

- Elaborar un **Plan de Contingencias** que involucre a la empresa concesionaria, en el que se detalle todos los riesgos a los que está sometida la infraestructura y los planes de respuesta en cada caso, incluyendo la respuesta frente a los desastres naturales identificados, así como a potenciales daños de la infraestructura por parte de los vehículos y la navegación fluvial. Afecta a los modos de fallo: **TODOS.**
- Se debe dotar a la infraestructura de un protocolo de acción en casos de accidentes (accidentes, incendios, vertidos, etc.), que incluya una coordinación y definición de roles entre entidades, de manera que se consiga agilizar los procesos de respuesta en estas situaciones. Afecta a los modos de fallo: **MF14, MF15, MF17 y MF20.**
- Se recomienda monitorear las condiciones de la zona Ramsar, de forma que se verifique que las infraestructuras propuestas no modifican las condiciones de humedad de este hábitat protegido. Afecta a los modos de fallo: **MF18.**

- Se recomienda reforzar la **ordenación del territorio**, incluyendo en los planes de desarrollo urbanístico los estudios de inundabilidad, de forma que se evite desarrollos poblacionales en zonas con riesgo de inundación. En cualquier caso, se debe evitar que se produzcan asentamientos no controlados, especialmente en la zona sur de Resistencia. Afecta a los modos de fallo: **MF7, MF8, MF9, MF10 y MF16.**
- Al encontrarse en un río de esta entidad, debe existir una **coordinación con vías navegables**, de forma que los trabajos de dragados en el río no afecten de forma negativa a la infraestructura, ni que, por otro lado, la potencial sedimentación y cambios en la sección del río puedan afectar a la navegación. Por último, merece la pena destacar la importancia del mantenimiento de balizamiento en las pilas de forma que se cumpla la normativa correspondiente. Afecta a los modos de fallo: **MF13, MF17 y MF21.**
- Por último, se debe reforzar la **gestión de cuencas** considerando los países implicados y las presas situadas aguas arriba. Afecta a los modos de fallo: **MF1, MF2, MF3, MF4, MF8 y MF9.**

Las medidas expuestas, junto con el modo de fallo afectado se resumen en la Tabla 8.1.

Acción del Plan de Gestión	MF afectado
Fase de diseño	
Considerar el efecto del cambio climático en las solicitaciones hidrológicas.	MF1, MF2, MF3, MF7, MF8, MF9
Reforzar los análisis hidrológicos de las cuencas de aporte a las alcantarillas para considerar el efecto de precipitaciones locales en esta área.	MF7, MF8, MF9
Cuantificar el nivel al que se produciría el desborde de la defensa sur.	MF9
Actualizar los modelos hidráulicos para considerar la infraestructura actual (defensa sur y terraplén de acceso a planta de tratamiento).	MF7, MF8, MF9, MF18
Tener en cuenta en el diseño, geometría y materiales de los taludes de los terraplenes la posibilidad de estar saturados durante varias semanas.	MF3
Reforzar los estudios y modelaciones de los procesos erosivos en el proyecto ejecutivo, incluso con modelos físicos.	MF5, MF6, MF21
Reforzar las entradas y salidas de las alcantarillas para evitar problemas de erosión.	MF2
Considerar periodos de retorno mayores a 100 años en fenómenos de vientos y empujes de agua.	MF1, MF12
Fortalecer los estudios sociales sobre asentamientos informales y evitar la posibilidad de reocupación de las zonas desalojadas por efecto del puente proyectado.	MF10, MF16
Tener en cuenta en el diseño de las alcantarillas la conectividad de los hábitats y las condiciones de humedad existentes.	MF18, MF19
Realizar un análisis cuantitativo completo	TODOS

Fase de construcción	
Evaluar el periodo de retorno que se tiene en cuenta para el proceso de construcción. Definir un protocolo de seguimiento de niveles y actuaciones.	MF4
Fase de operación y mantenimiento	
Tener especial atención a los taludes y a los procesos de erosión en las alcantarillas, reforzando la vigilancia cuando estos están saturados, incluso con instrumentación o topografía.	MF2, MF3
Definir un protocolo de vigilancia y acción ante erosiones del río, implementando inspecciones y mediciones periódicas.	MF5, MF6, MF21
Gestión general del riesgo	
Elaborar un Plan de Contingencias que involucre a la empresa concesionaria, en el que se detalle todos los riesgos a los que está sometida la infraestructura y los planes de respuesta en cada caso.	TODOS
Dotar a la infraestructura de un protocolo de acción en casos de accidentes.	MF14, MF15, MF17, MF20
Monitorear las condiciones de humedad de la zona Ramsar.	MF18
Reforzar la ordenación del territorio e incluir en los planes de desarrollo urbanístico los estudios de inundabilidad.	MF7, MF8, MF9, MF10, MF16
Coordinación con vías navegables. Mantenimiento de balizamiento en las pilas.	MF13, MF17, MF21
Reforzar la gestión de cuencas considerando los países implicados y las presas situadas aguas arriba.	MF1, MF2, MF3, MF4, MF8, MF9.

Tabla 8.1. Resumen medidas propuestas.

9. CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo la **evaluación cualitativa completa** del nuevo puente proyectado para unir las provincias de Chaco y Corrientes. Para completar este proceso se realizó una visita técnica a la ubicación donde se emplazará el puente, una revisión de la información existente, y un taller de identificación de modos de fallo.

El **taller de modos de fallos** se desarrolló en las oficinas del Banco Interamericano de Desarrollo de Buenos Aires, donde alrededor de 30 personas participaron, tanto en presencial como en remoto. El desarrollo de este proceso ha tenido una serie de efectos beneficiosos derivados de su propia naturaleza y estructura, entre los que cabe destacar los siguientes:

- La **visita técnica** permitió que todos los integrantes del taller tuvieran un conocimiento del emplazamiento del puente, del medio en el que se sitúa y poblaciones de alrededor, lo que ha permitido tener una visión más general y adecuada del proyecto y su entorno.
- La participación en un mismo foro de una **gran variedad de técnicos** de diferentes entidades e instituciones ha permitido el intercambio y puesta en común de información relativa al proyecto, de modo que los diversos interlocutores han podido tener acceso a una visión conjunta e integral de los distintos riesgos que podría sufrir las carreteras de la zona de estudio.
- La **revisión conjunta de la información** disponible sobre los riesgos en la zona de estudio (inundación fluvial, pluvial, erosión, etc.) ha permitido establecer una visión común homogénea como punto de partida para el desarrollo del trabajo posterior, debatiendo sobre los principales problemas de gestión a tener en cuenta y analizando sus posibles soluciones.
- Durante la revisión, se ha podido comprobar que existen algunos puntos críticos, de los cuales destaca la preocupación de exacerbar el riesgo de inundación de las poblaciones situadas aguas arriba de la traza, o la incertidumbre acerca de los procesos de erosión en la sección del puente.

A partir de este taller se identificaron un total de **21 modos de fallo**: 4 de ellos de tipo hidrológicos, 2 de ellos relacionados con fallos por erosión, 4 de ellos relativos a inundaciones de las zonas urbanas, 4 fallos de tipo estructural y 7 fallos que incluyen causas variadas.

A partir de estos modos de fallo, se definen las siguientes recomendaciones:

- En cuanto a los diseños, se recomienda **reforzar los estudios** relacionados con la **hidrología e hidráulica** de la llanura de inundación, incluyendo escenarios de precipitación local y escenarios a largo plazo incluyendo el cambio climático. Además, resulta necesario realizar estudios más detallados sobre los **procesos erosivos**, que permita justificar la profundidad de los pilotes necesaria.
- Además, debido a situarse en una zona Ramsar, se recomienda tener en cuenta desde el diseño los posibles cambios en el drenaje natural y la posibilidad del tránsito de fauna, para **evitar afecciones ambientales.**
- En cuanto al **proceso de construcción**, se recomienda definir un **protocolo de seguimiento de niveles** y actuaciones para este proceso, existiendo una coordinación con vías navegables.
- Para la operación y el mantenimiento, se recomienda centrar esfuerzos en **controlar los procesos erosivos**, tanto de los taludes y alcantarillas, como del lecho del río que pueda afectar a las cimentaciones de las pilas, incluso instalando instrumentación.
- En cuanto a la gestión general del riesgo, se recomienda dotar a la infraestructura de un **Plan de Contingencias** y de un **protocolo de acción en caso de accidentes**, de forma que definan los roles y

la interacción entre ellos. Además, al encontrarse en una zona altamente urbanizada, destaca la importancia de la necesidad de **reforzar la ordenación del territorio**, para evitar asentamientos de población en zonas con riesgo de inundación.

Finalmente, cabe destacar la envergadura y la importancia del puente proyectado, por lo que se recomienda proseguir con **análisis cuantitativo completo** que permita obtener el perfil de riesgo base (actual sin puente), el futuro (condiciones actuales con puente) y tendencial (condiciones futuras con puente). De esta forma justificar debidamente que no se está exacerbando el riesgo en las zonas colindantes ni transfiriendo el riesgo a terceros.

Anejo 1.CUADERNILLOS DE IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO

Nombre	ADRIÁN MORALES
Cargo/Entidad	iPRESAS

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	INUNDACIÓN BARRIOS CIRCUNDANTES

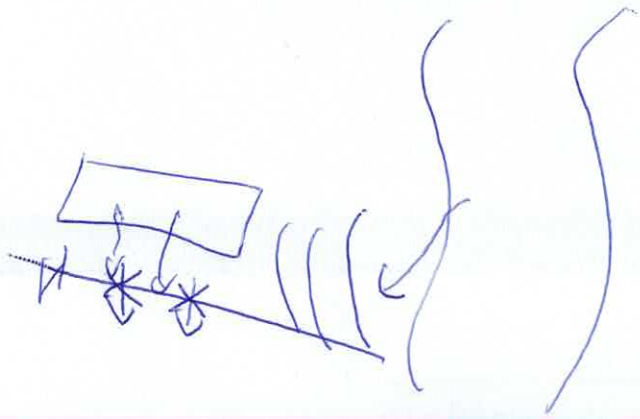
Descripción

CRECIDA PARAÑÁ

↳ RETENCIÓN DE AGUA POR TALUD CARRETERA

↳ DAÑOS EN ZONAS CIRCUNDANTES

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
NUEVOS BARRIOS PREVISTOS	DUEÑO HIDRÁULICO MUESTRA POCO NIVEL
~~[illegible]~~ INCERTIDUMBRE ALCANTARILLAS	
POSIBILIDAD DE PÉRDIDA CAPACIDAD	
AFECCIÓN AMBIENTAL	

Nombre	MARIA ROSALIA ENRIQUEZ
Cargo/Entidad	DIVISION HIDROLOGIA E HIDRAULICA - DNV.

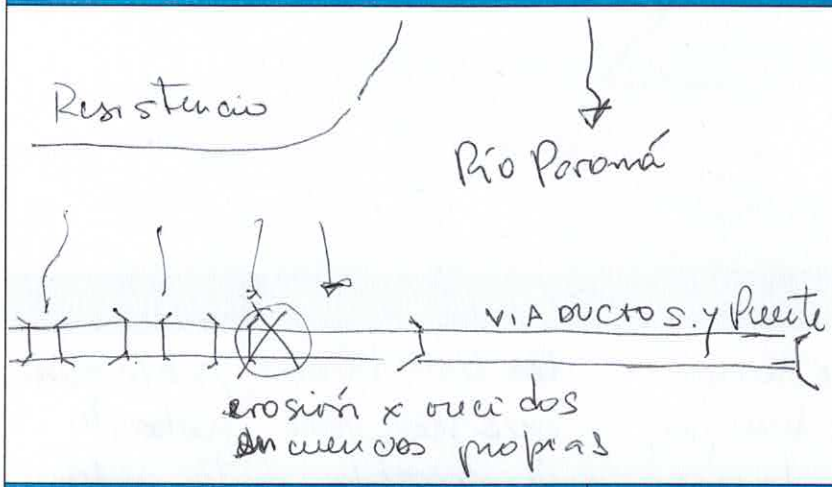
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	CORTE EN TERRAPLENES DE ACCESO dado CHAGO

Descripción

Al ser zona inundable la zona de los terraplenes de acceso, puede darse problemas de erosión en alguna de las estructuras de drenaje ubicadas allí.
Con lo cual debiera ~~[illegible]~~ interrumpirse para la reparación de dicha estructura.
Esto podría deberse a un aumento de la escorrentía tanto x cambio en uso de suelo, como por aumento de la precipitación

Esquema gráfico



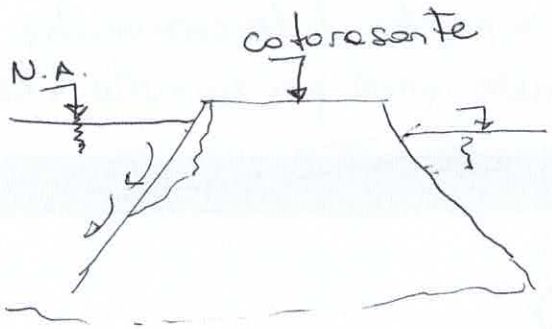
Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Mayor impermeabilización por aumento de la zona urbana. ~~[illegible]~~ Aumento de precipitaciones en periodo de tiempo húmedo	Una adecuada protección del terraplen. Adecuado calculo de erosiones en la estructura con la consecuente proyección fundación proyectada

Modo de fallo	
Título	Fallo en la protección de terraplenes

Descripción

Para crecidas de largo duración, podría darse que la protección de suelo posto proyectado en terraplenes falle, lo que dejaría desnudo el terraplen sin protección al contacto con el agua, produciéndose una erosión que avanza sobre el terraplen produciendo deterioros en el mismo, pudiendo llegar a la calzada

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Nivel de agua, x largos periodos de tiempo, muy elevado, lo que moja cualquier vegetación.	Una buena protección que sea mas robusta y durable ante estos efectos del agua

Nombre	Snihur
Cargo/Entidad	DNV

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	Inundaciones en zonas no previstas durante Construcción

Descripción

Producto de las etapas constructivas, principalmente en terraplenes, produzca una modificación en el escurrimiento del agua, y que ante una lluvia importante produzca inundaciones no previstas, teniendo especial cuidado en áreas urbanas.

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Importantes lluvias en etapas constructivas que no hayan sido correctamente planificadas	Correcta planificación de todas las etapas de la obra.

Modo de fallo	
Título	Inundaciones por mal funcionamiento de desagües

Descripción

Fallas de desagües producto de roturas, que se tapen, o por mal uso del entorno y las poblaciones (*) que haga que no funcionen correctamente el desagüe, un mal escurrimiento del agua y se produzcan inundaciones.

Esquema gráfico

(*) o poblaciones que se establecen en lugares o de forma no previstas.

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- Desagües que se puedan romper, tapar (por basura, vegetación o construcciones ilegales que las obstruyan).	- Mantenimiento de desagües - Control de la zona de camino, en especial en áreas urbanas.

Nombre	ING CARLOS R. BORDAGARAY
Cargo/Entidad	SUBGERENTE EST. Y PROYECTOS - DNV

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

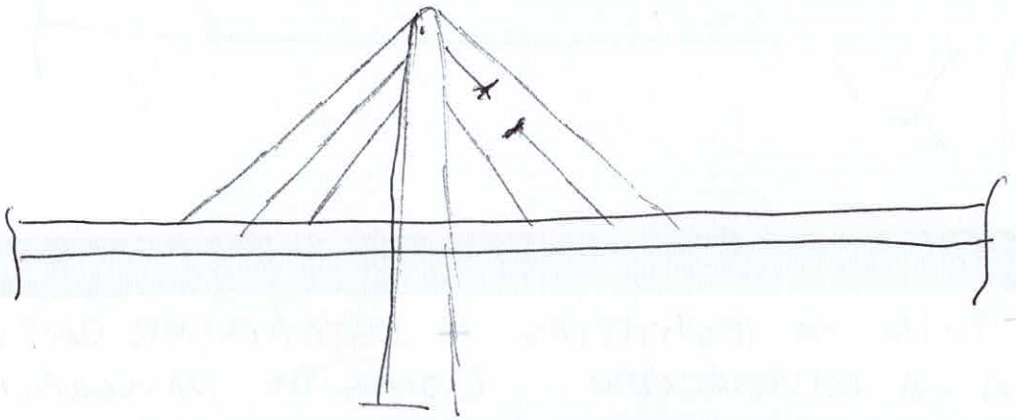
Modo de fallo	
Título	ROTURA DE OBENQUE.

Descripción

ROTURA PARCIAL O TOTAL DE OBENQUE.

- PARCIAL: PÉRDIDA PARCIAL DE RESISTENCIA
- TOTAL: CORTE DEL OBENQUE.

Esquema gráfico



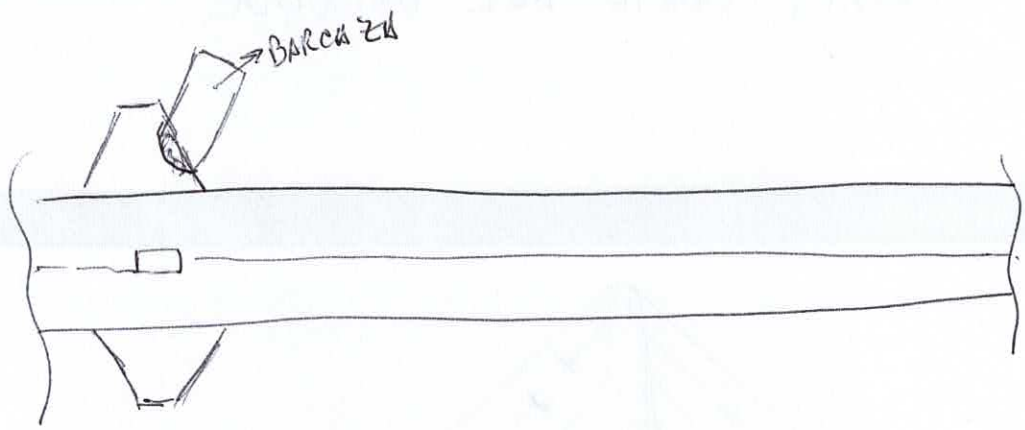
Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- FALTA DE MANTENIMIENTO	- MAYOR CONTROL DE CALIDAD DURANTE LA EJECUCIÓN
- SOBRECARGA EN EL PUENTE	- DISEÑO ADECUADO
- FALLAS EN OTRA PARTE DE LA ESTRUCTURA QUE SOBRECARGUE EL OBENQUE	- PROTECCIÓN ANTE COLISIÓN DE VEHÍCULO
- COLISIÓN CON VEHÍCULO	

Modo de fallo	
Título	COLISIÓN DE EMBARCACIONES SOBRE PILAS

Descripción

- CHOQUE DE EMBARCACIONES SOBRE LAS PILAS.
- DURANTE UN FENÓMENO METEOROLÓGICO CON FUERTES VIENTOS Y LLUVIA
- CON DAÑO A LA PROTECCIÓN DE LA PILA

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- Falta de restricción a la navegación con condiciones adversas	- ESTABLECER CONDICIONES DE NAVEGABILIDAD
- FALLAS EN EL SISTEMA DE BALIZAMIENTO.	- MANTENIMIENTO DEL BALIZAMIENTO
-	- MEJORAR EL CONTROL DE CALIDAD EN LA EJECUCIÓN
	- DISEÑO DE LA PROTECCIÓN PARA EVITAR DAÑOS ANTE COLISIONES

Nombre	Martin Zenzbriz y Gabriela Iglesia
Cargo/Entidad	Ambiental - Digepse/MOP.

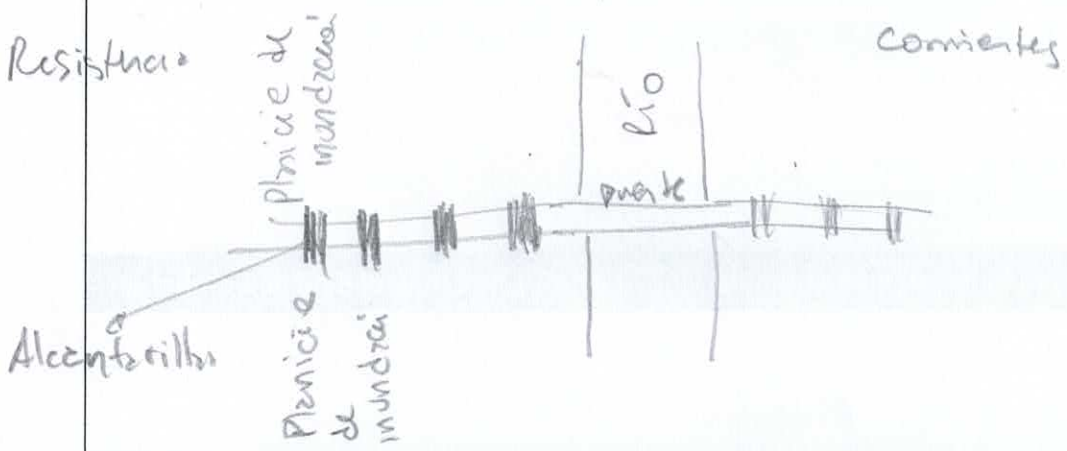
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	FUNCIONAMIENTO INADECUADO DE ALCANTARILLAS

Descripción

- Debido al escaso mantenimiento se pueden generar bloqueos en la dinamica del sistema del la planicie de inundación.
- Que el diseño garantice la continuidad y funcionamiento del ecosistema. Para ello el diseño debería ser adaptado (forma) a las necesidades biologicas de las comunidades (flora y fauna).
- Estructura no diseñada contemplando la resilencia por el cambio climatico.

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- Sedimentos	- Manejo de operación y mantenimiento adecuado.
- Mantenimiento deficiente	- Capacitación a la población para la concientización.
- Atascamientos de RSU (mayor población)	- Diseños basados en la naturaleza.
- Diseño que contemple unicamente cuestiones hidrologicas y no biologicas.	- Correcta implementación del Plan de Manejo en etapa operativa.
- Inadecuado planeamiento urbano	

Martín Zorzburiz y Gabriela Iglesias DiGepse - MOP Ambiental.

Modo de fallo

Título	Conflictos Sociales

Descripción

- Conflictos con la relocalización de las familias por no satisfacer las demandas del plan de reasentamiento
- Intrusión de nuevas familias en los terrenos

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- No cumplir con tiempos ni peticiones de las familias - Carencias en la comunicación - Asistencia social precaria - Control del uso del suelo	- Correcta gestión social - Buen manejo de control del mecanismo de quejas y reclamos - Difusión y capacitación social - Gestión adecuada del uso del suelo - Correcta implementación del Plan de manejo ambiental y social.

Nombre	Marcelo Sommerson
Cargo/Entidad	Consultor Dir. Nac. Planif. Obra Pública MOP

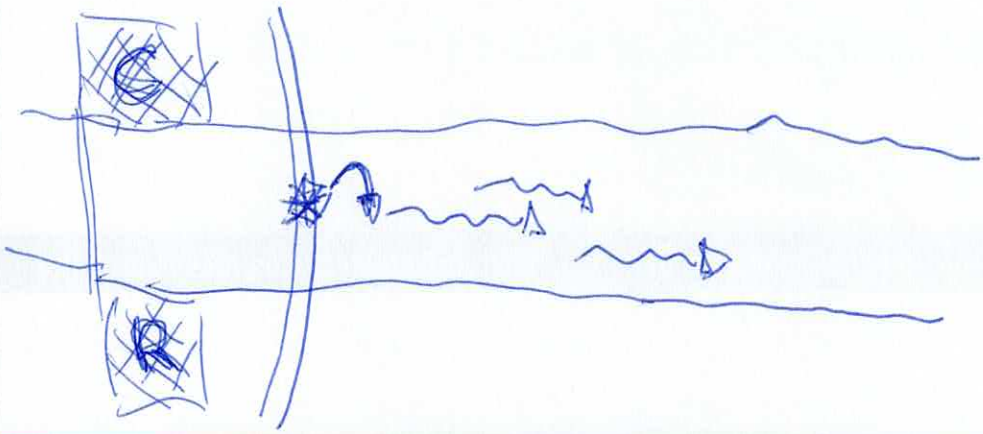
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	Derrame de Sustancias Peligrosas

Descripción

Accidente vial sobre el puente con derrame de productos peligrosos que puedan alcanzar el agua del río y afectar su calidad como fuente de agua y para la pesca artesanal existente.

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- Insuficiente control del tránsito (velocidad)	- Contar con protocolos
- Falta de obras de contención sobre el puente	- Contar c/ equipo p/ contención de derrames
- Malos protocolos de acción y de alerta.	- Sist. alerta a Prefectura y a APA de ~~la~~ las Provincias
	- Disponer de un área física a disposición del ~~[illegible]~~ p/ el monitoreo y equipos -

Nombre	Somensor Marcelo
Cargo/Entidad	MOP.

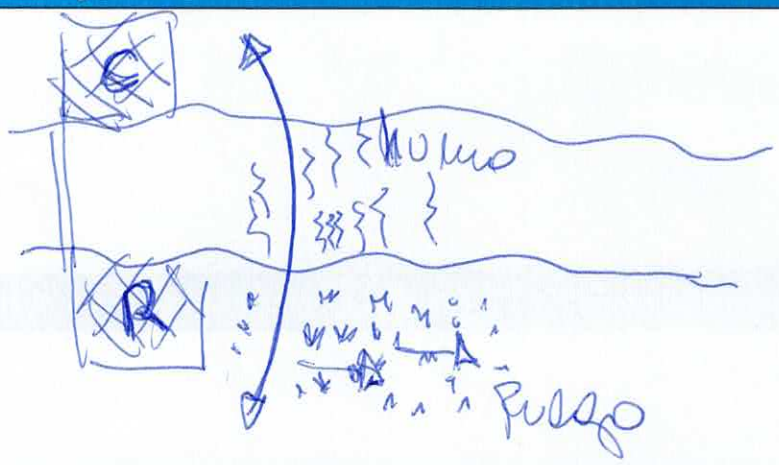
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	Incendios de pastizales

Descripción

Generación de focos de incendios desde los accesos al puente, en el sitio Raucar y el humo a su vez afectar al tránsito vehicular.

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- Falta de protocolos - Falta de señalamiento -	- Disponer de un equipo de lucha c/ incendios en la concesionaria o en el sitio Raucar - Disponer de un sitio físico p/

Nombre	Atropellamiento de fauna
Cargo/Entidad	Somensor - MOP

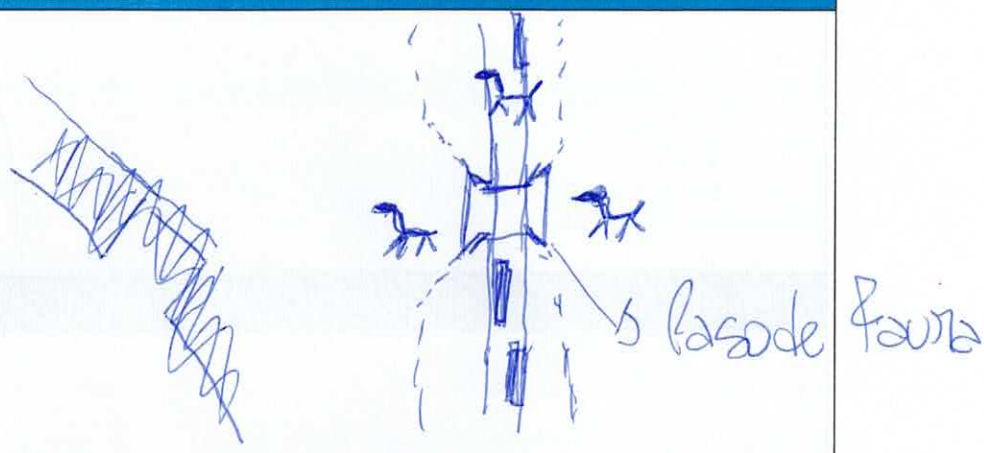
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	Atropellamiento de fauna

Descripción

Subida de fauna al terraplén y colisión c/ vehículos y corte de circulación vial

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Insuficiente permeabilidad del terraplen p/la fauna.	- Buen diseño de obras de paso de fauna
Insuficientes medidas p/impedir acceso de fauna	- Señalamiento vial
	- Pendiente terraplén
	- Tipo de alambrados

Nombre	RAIMON PORTA
Cargo/Entidad	DID

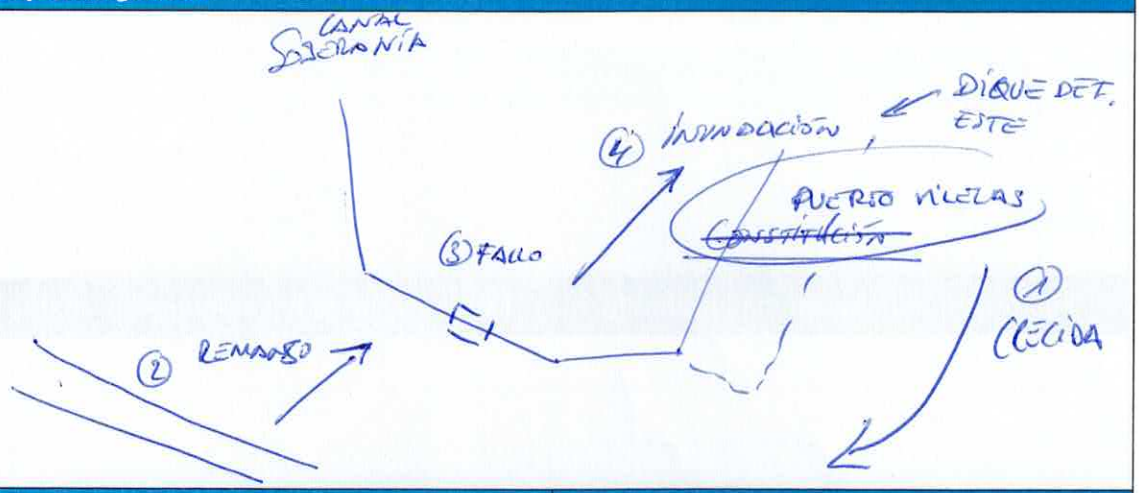
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	FALLO OBRA CONTROL PUERTO VILELAS

Descripción

CRECIDA EN PARANÁ, REMANSO POR AFECTACIÓN DEL TALUD AL FLUJO Y FALLO EN OPERACIÓN COMPUERTAS, INUNDACIÓN HACIA SOBERANÍA Y PUERTO VILELAS ENCERRADOS POR DIQUE DE PROTECCIÓN

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- FALTA DRENAJE TERRAPLÉN	- CAPACIDAD TÉCNICA APA
- HIPÓTESIS DE OPERACIÓN ACTUALES DE LA OBRA DE CONTROL	- BUENA CONTRACCIÓN OBRA CONTROL
- DIQUE DE DEFENSA A COTA MAYOR	

Nombre	RAIMON PORTA
Cargo/Entidad	BID.

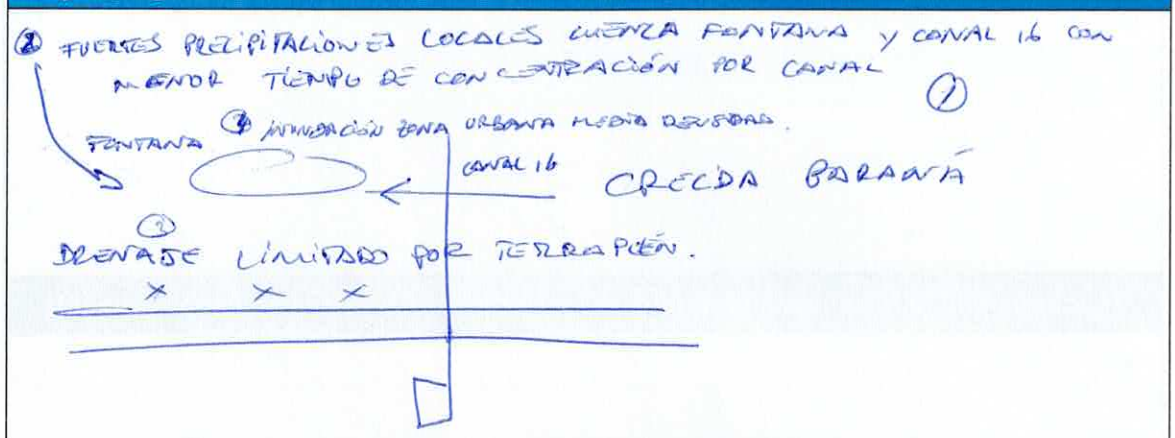
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	INVNDACIÓN NUEVA ZONA URBANA CAMPO TIRO

Descripción

CRECIDA EN PARANÁ CONDICIONA DRENAJE DE CUENCA FONTANA, CANAL 16 A TRAVÉS DE TERRAPLÉN ~~VIA~~ VÍA ACCESO A PTAR REMANSA Y DRENAJE LIMITADO AL SUR ESTE. AUMENTO DE CONCENTRADAS RESPECTO AL CASO BASE

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
⑥ ② - FALTA DE ESTUDIO INUNDABILIDAD ACTUALIZADO QUE INFLUYE PLANEAMIENTO	- COINCIDENCIA TEMPORAL DE LAS CRECIDAS
→ MODELO HIDRÁULICO INCOMPLETO INCLUYENDO ESTAS CONDICIONES DE CONTORNO	-
- COMPLEJIDAD DEL SISTEMA DE DRENAJE	

- FALTA DE PLAN DE GESTIÓN DEL RIESGO
- FALTA DE MEDIDAS URBANÍSTICAS PARA EDIFICACIÓN EN ZONAS INUNDADAS

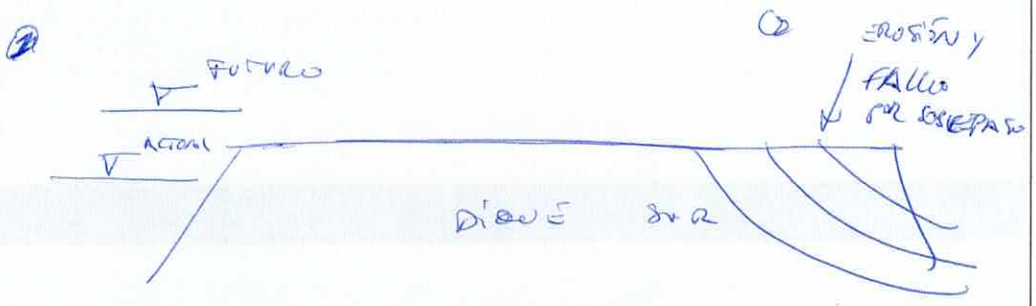
Modo de fallo

Título	ROTURA DIQUE SR

Descripción

SOBREPASO DEL DIQUE SR AL ESTAR A MENOR COTA QUE EL TERRAPLÉN DEL PUENTE Y LA PRESENCIA DE ESTE APORTAR MAYOR SOLICITACIÓN / CAUSADO POR EL REMANSO RESPECTO AL ACTUAL.

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
- ESTADO CONSERVACIÓN DIQUE	
- CONDICIÓN DRENAJE PUENTE	

Nombre	RAIMON PORTA
Cargo/Entidad	BID

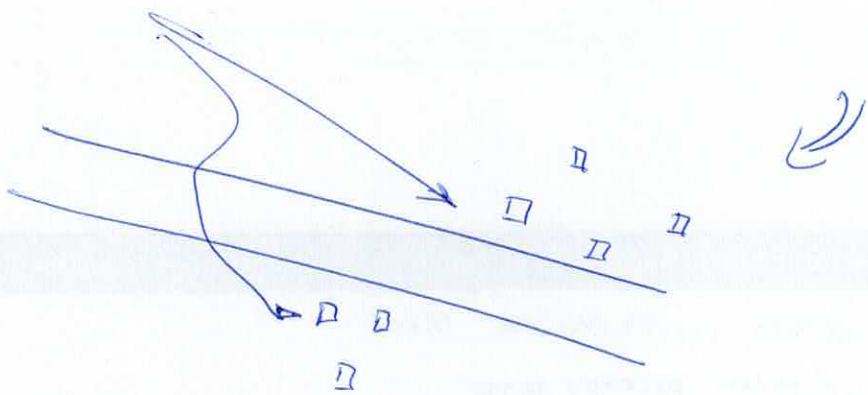
IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	CRECIMIENTO ~~[illegible]~~ DESENFRENADO INFORMAL ~~INDUCIDO~~

Descripción

TERRAPLÉN CONCEBIDO COMO OBRA DE PROTECCIÓN CONTRA INUNDACIONES Y DESPLAZAMIENTO DE POBLACIÓN HACIA ZONAS INUNDABLES. AUMENTO DE LA EXPOSICIÓN FRENTE A CRECIDAS EXTRAORDINARIAS.

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
~~[illegible]~~	- "LIMITADO" NATURALMENTE EN LAS ZONAS MÁS BAJAS DEL SITIO RAMSAR
- FALTA ZONIFICACIÓN PELIGROSIDAD Y RIESGO SIN Y CON OBRA	-
- TENDENCIA CLARA EN EL PASADO	

Nombre	GARCIA AUGUSTO
Cargo/Entidad	DNV

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo	
Título	Choques de barcazas con las pilas

Descripción

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo	
Título	Rotura de obenpus

Descripción

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo	
Título	Erosión local de los pilotes

Descripción

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo	
Título	En la etapa constructiva, ~~[illegible]~~ caída extraordinaria

Descripción

Una caída extraordinaria podría generar pérdidas de equipos y generar reconstruir alguna estructura

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
	El río está regulado

Modo de fallo	
Título	En la fase constructiva, choque de barcazas a pontones

Descripción

Durante la etapa constructiva las barcazas pueden colisionar los pontones para materializar el hormigonado de pilotes y pilas

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo	
Título	En la fase constructiva, inundaciones ~~producto de no tener~~

Descripción

Producto de no tener un sistema acorde de drenaje de obra, se puede inundar algun campo o propiedad

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Nombre	LEANDRO KAZIMIERSKI
Cargo/Entidad	CONSULTOR HIDRÁULICO / BID

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo 1	
Título	**IMPEDIMENTO DE NAVEGACIÓN FLUVIAL POR SEDIMENTACIÓN**

Descripción

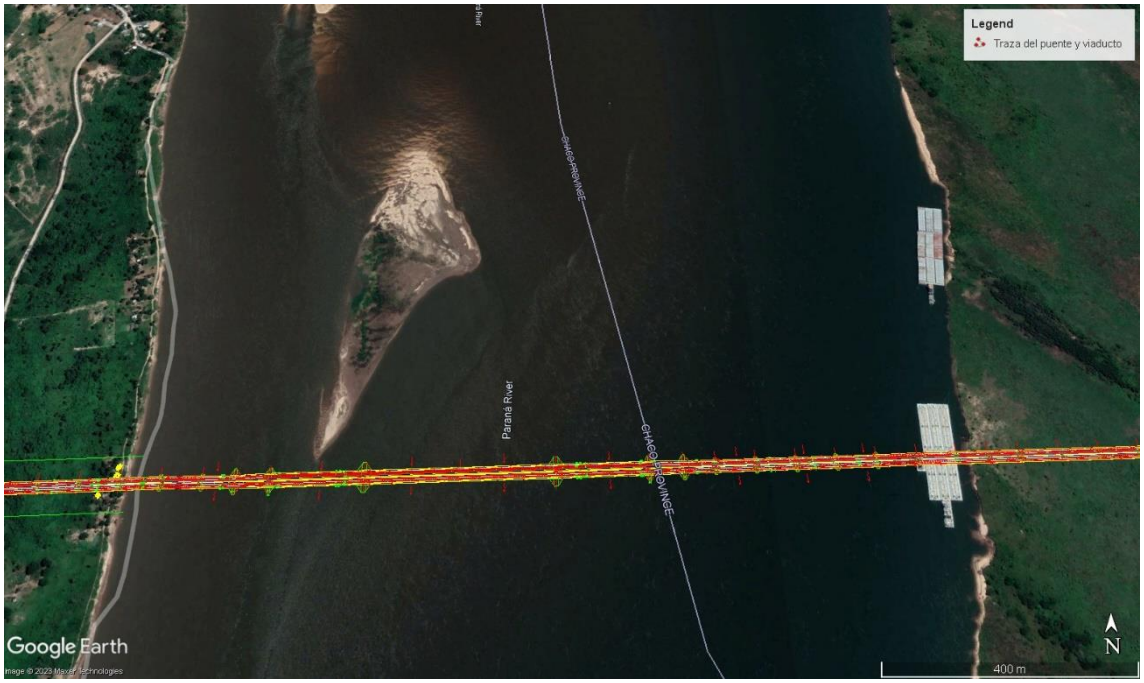
Actualmente la navegación de barcazas sobre el río Paraná en el tramo Santa Fe - confluencia se realiza por la zona donde la navegación es más sencilla en un compromiso entre profundidad (calado) y maniobrabilidad pasos indicados por la autoridad.

La construcción del puente impone un canal navegable único que debe ser mantenido mediante dragado continuo.

Por la fuerte evolución morfológica y el transporte de sedimentos del río Paraná, la sedimentación sobre el canal de navegación puede requerir dragados intensivos.

En caso de imposibilidad de navegación se produciría un gran perjuicio económico que tiene alcances internacionales (Paraguay saca su cosecha por la vía navegable, por ejemplo)

Esquema gráfico



Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Incremento de la variabilidad de los caudales que pueden acelerar los procesos morfológicos.	Posibilidad de dragados continuos

Mayor transporte de sedimentos por crecidas del río Bermejo.	Previsibilidad de sedimentación mediante modelos y estimaciones mediante tendencias con batimetrías
Falta de controles y planes de mantenimiento	Disminución del transporte de sedimentos
Incremento de la navegación fluvial	

Modo de fallo 2	
Título	**FALLA EN ESTRIBO MARGEN DERECHA**

Descripción

El estribo de margen derecha sobre la planicie del lado Chaqueño puede sufrir procesos de erosión que alcancen la progresiva del estribo y generen una socavación no estipulada en el proyecto llevando la estructura al colapso.

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Incremento de la variabilidad de los caudales que pueden acelerar los procesos morfológicos.	Estabilidad de las márgenes
Menor transporte de sedimentos que genere mayores procesos de erosión sobre las márgenes	Fundaciones profundas
Incendios de la vegetación ribereña que aumentan los procesos erosivos	Previsibilidad del proceso que permite tomar acciones precautorias
	Posibilidad de hacer relevamientos y obras de protección

Modo de fallo 3	
Título	**FALLA DE PILAS NO PROTEGIDAS POR CHOQUE DE EMBARCACIÓN**

Descripción

Una embarcación sin control o una barcaza suelta choca con una pila generando daños que pueden comprometer la integridad del puente.

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Embarcaciones de bajo mantenimiento y poco control de sus condiciones de navegabilidad	Diseño de las pilas ante choques de embarcaciones
Barcazas mal amarradas	Criterios claros de navegación y amarre
Incremento del tráfico fluvial	

Nombre	Marie Hernando
Cargo/Entidad	Subgerencia de Estudios SocioAmbiental -DNV

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo 1	
Título	
Descripción	
Fallo de fundaciones	
Fallo por choque de embarcaciones	
Fallo de Viaductos de entrada al puente por dinámica de inundaciones	
Durante la operación: Riesgo de afectación de aguas por caída de sustancias peligrosas	
Afectación del tránsito por siniestros sobre el puente	
Fallo de fundaciones	
Fallo por choque de embarcaciones	
Fallo de Viaductos de entrada al puente por dinámica de inundaciones	
Esquema gráfico	
Factores que lo hacen más probable	**Factores que lo hacen menos probable**
Características geotécnicas	Buen cálculo de fundaciones y su profundidad
Navegabilidad del Paraná con trenes de barcaza	Construcción prevista de defensas
Dinámica de inundaciones	Consideración de estructuras de paso que alivian el problema
	características del puente y plan de manejo de contingencias

Modo de fallo 2	
Título	**PASO DE TRANSPORTE DE CARGAS ESPECIALES**

Descripción

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Nombre	ALEJANDRA VILELA
Cargo/Entidad	18 DISTRITO CHACO-DNV

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo 1	
Título	**ACCIDENTES DE TRANSITO SOBRE EL PUENTE**

Descripción

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo 2	
Título	**PASO DE TRANSPORTE DE CARGAS ESPECIALES**

Descripción

Transporte de Turbinas y/o equipos de Yacyreta, que tienen dimensiones especiales

Provocan congestión porque son de transito lento

Pueden provocar daños en elementos laterales (Barandas) o estructurales (obenques)

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Nombre	EQUIPO SIT
Cargo/Entidad	SUBSECRETARÍA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL - MAyDTS

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

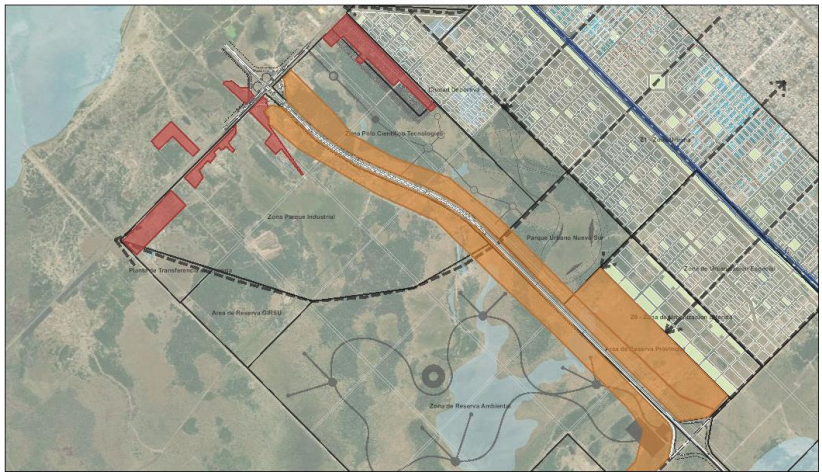
Modo de fallo 1	
Título	**ASENTAMIENTOS INFORMALES**

Descripción

Modo de Fallo durante la ejecución de las obras del viaducto en zona sur de Resistencia – migración de asentamientos informales en la zona de liberación de traza por oportunidad de nuevo banco de tierra nivelada a cotas no inundables.

Esquema gráfico

Posibles asentamientos en Traza 2do Puente



Antecedentes de asentamientos a la vera de una ruta nacional

Posibles nuevos asentamientos

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
El Plan Urbano Nuevo sur, propicia una expansión direccionada con infraestructura al sur de la ciudad, siendo cada vez mas alta la demanda de tierra en esta zona.	El acceso a la zona de liberación de traza para el proyecto esta interrumpida actualmente por bosque nativo y zonas inundables, sin una continuidad de la red vial.
Las presiones de organizaciones sociales para la adjudicación de tierra provocan una constante re adecuación del plan urbano, expandiéndolo fuera de los límites de dicho plan en función de brindar una solución rápida a la demanda.	El cumplimiento de las ordenanzas municipales sobre distritos de uso de suelo y la aprobación de la ley de reserva de áreas protegidas.
Existen antecedentes en la ciudad de	

ocupación de tierra en proceso de planificación o ejecución de proyectos con motivo especulativo inmobiliario, utilizando como palanca la demanda habitacional.	
Existen programas de ejecución de viviendas sin coordinación con los organismos que debieran regular la expansión urbana y/o creación de suelo urbano.	

Nombre	Robert Langstroth
Cargo/Entidad	Especialista Ambiental Sénior – BID

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo 1	
Título	**Alteración de patrones de drenaje y creación de puntos de concentración**

Descripción

La construcción del terraplén con alcantarillas resultará en la alteración de patrones de drenaje superficial y escorrentías con el efecto de concentrar el agua en los puntos de las alcantarillas, resultando en descargas con mayor caudal, velocidad y fuerza erosiva. Esto podrá resulta en cambios hidroecológicos aguas arriba y aguas abajo del terraplén, con mayor acumulación de aguas pluviales al norte del terraplén y condiciones más secas al sur, como se puede observar en numerosas obras viales en el Chaco Húmedo y otras regiones de bajo relieve y lluvias estacionales. Aguas debajo de las alcantarillas, se puede provocar la erosión de cauces como resultado de la presión hidrostática, resultando en cambios hidrológicos locales.

Esto puede resultar en impactos económicos adversos para productores de ganado, dueños de estructuras construidas en zonas afectadas, costos elevados de mantenimiento de las obras del Proyecto, etc.

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Cantidad, tamaño y geometría inadecuada de alcantarillas	Uso de puentes o viaductos de 100 m en vez de alcantarillas

Nombre	FRANCISCO JAVIER SANCHEZ CARO
Cargo/Entidad	Asesor iPRESAS

IDENTIFICACIÓN DE MODOS DE FALLO INDIVIDUAL

Modo de fallo 1		
Título	**Escenario: Avenidas**	**Socavación cimentación apoyos**
Descripción		
Avenida importante		
Socavación generalizada + localizada en zona de apoyo		
Pérdida de capacidad portante de los pilotes (resistencia nula de zona erosionada)		
Falla de la cimentación		
Colapso del puente		
Esquema gráfico		

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable
Caudales muy importantes del río Paraná	
Observación de socavación en Puente existente (General Belgrano)	
Dinámica fluvial histórica del río	
Existencia de presas enormes aguas arriba	Existencia de presas enormes aguas arriba
Dificultad de su estudio	

Modo de fallo 2		
Título	**Escenario: Normal y Viento extremo**	**Rotura Tirante**

Descripción

Fallo de algún tirante

Sobrecarga de resto de tirantes

Posible falla estructural del puente

Esquema gráfico

Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Modo de fallo 3		
Título	**Escenario: Avenidas**	**Afección a rellenos de acceso**

Descripción

Gran avenida que afecta a terraplenes de acceso

Fallo estructural del terraplén de acceso y/o cimiento

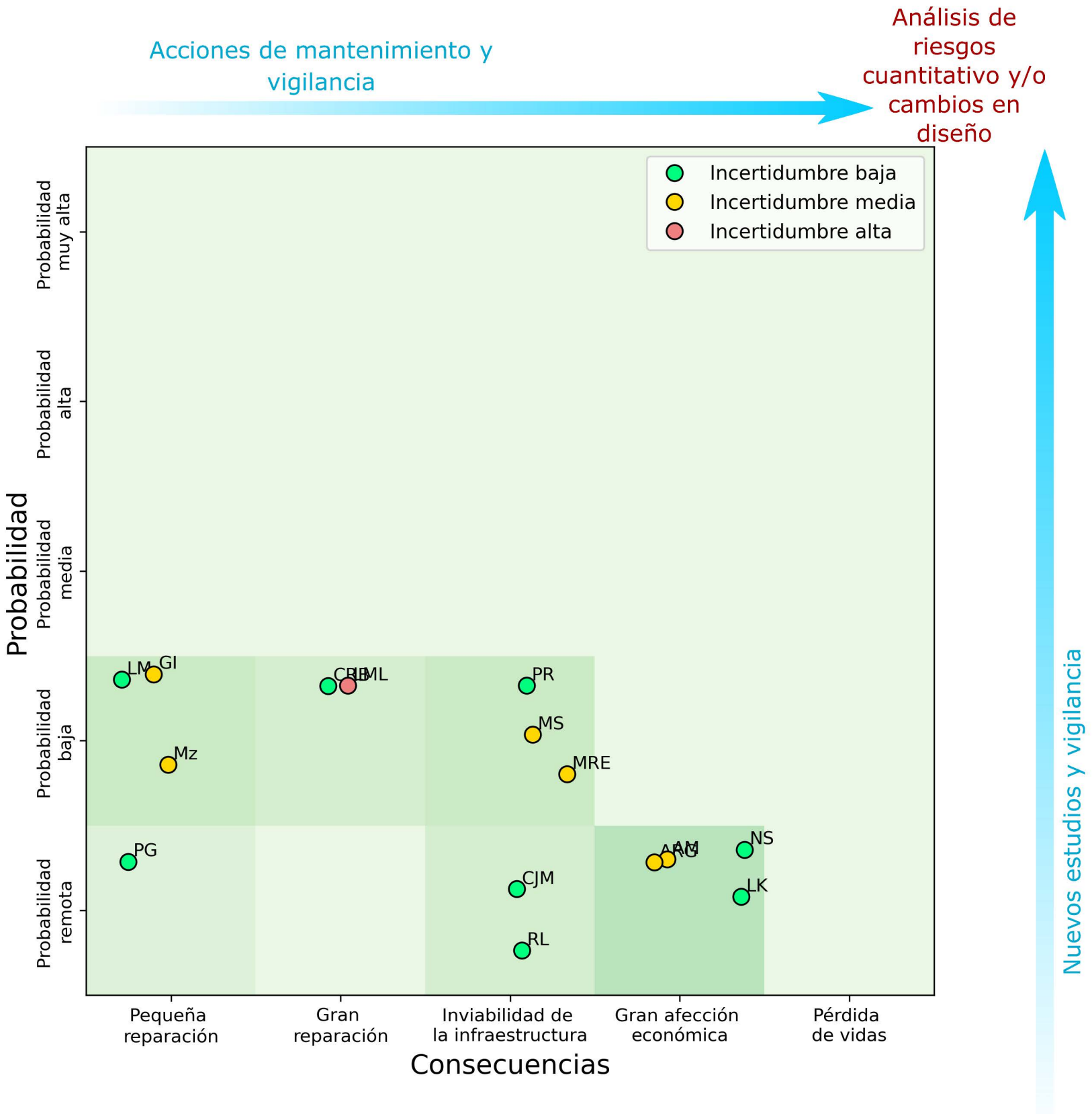
Falta de operatividad del Puente

Esquema gráfico

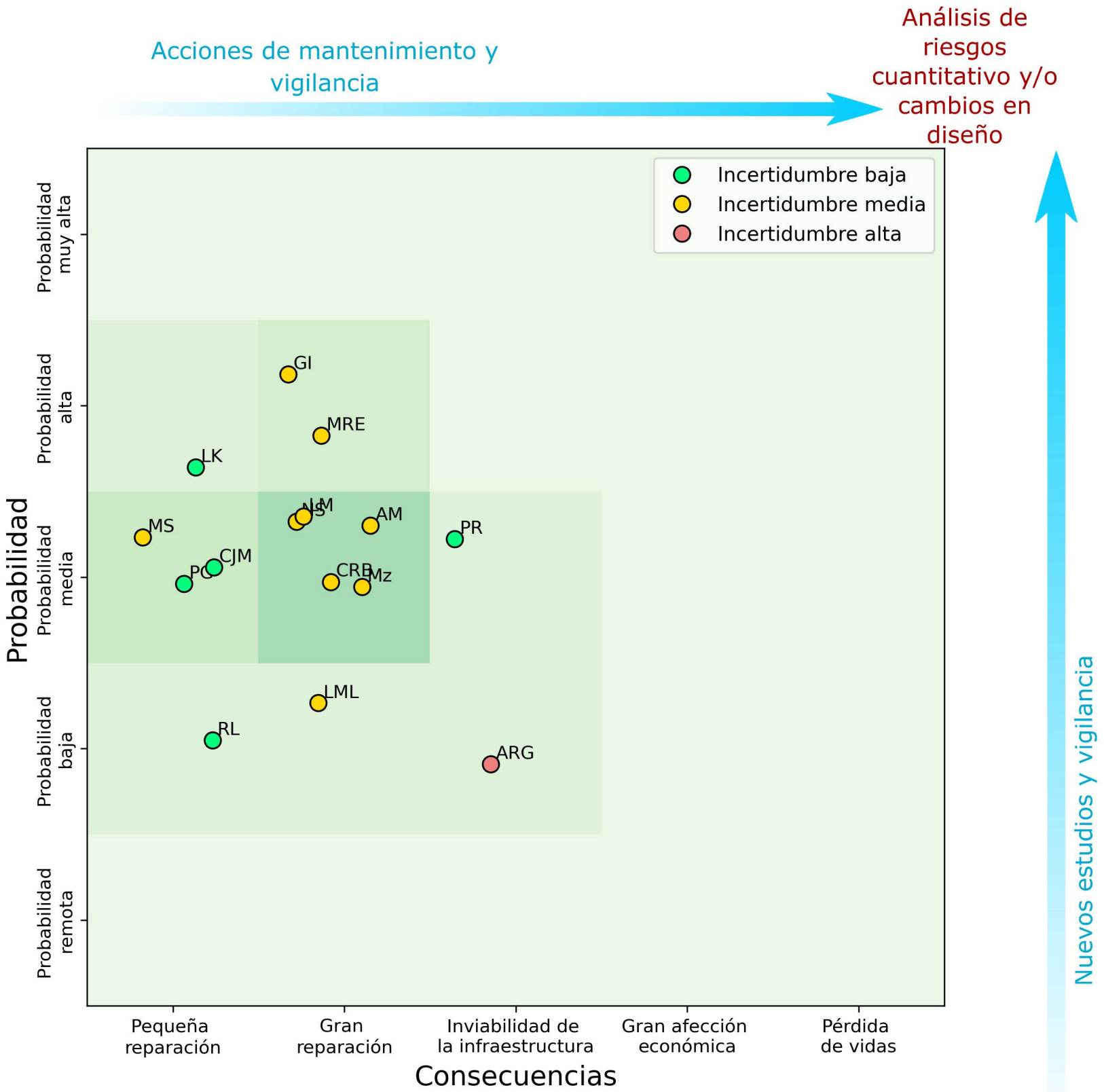
Factores que lo hacen más probable	Factores que lo hacen menos probable

Anejo 2. RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN INDIVIDUAL DE MODOS DE FALLO

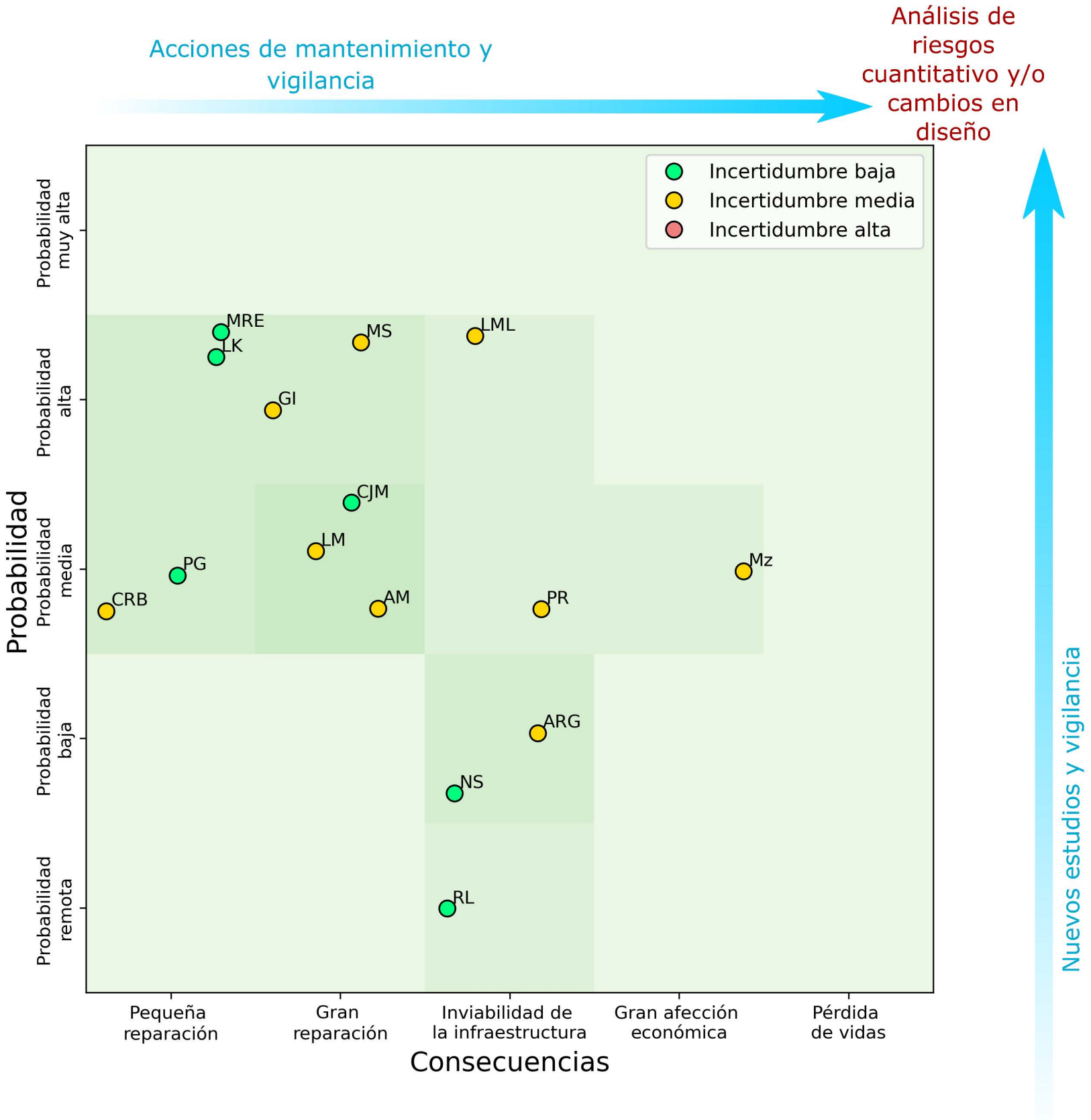
MF1.Gran crecida y rotura por empuje



MF2.Crecida, erosión del terraplén y reparación

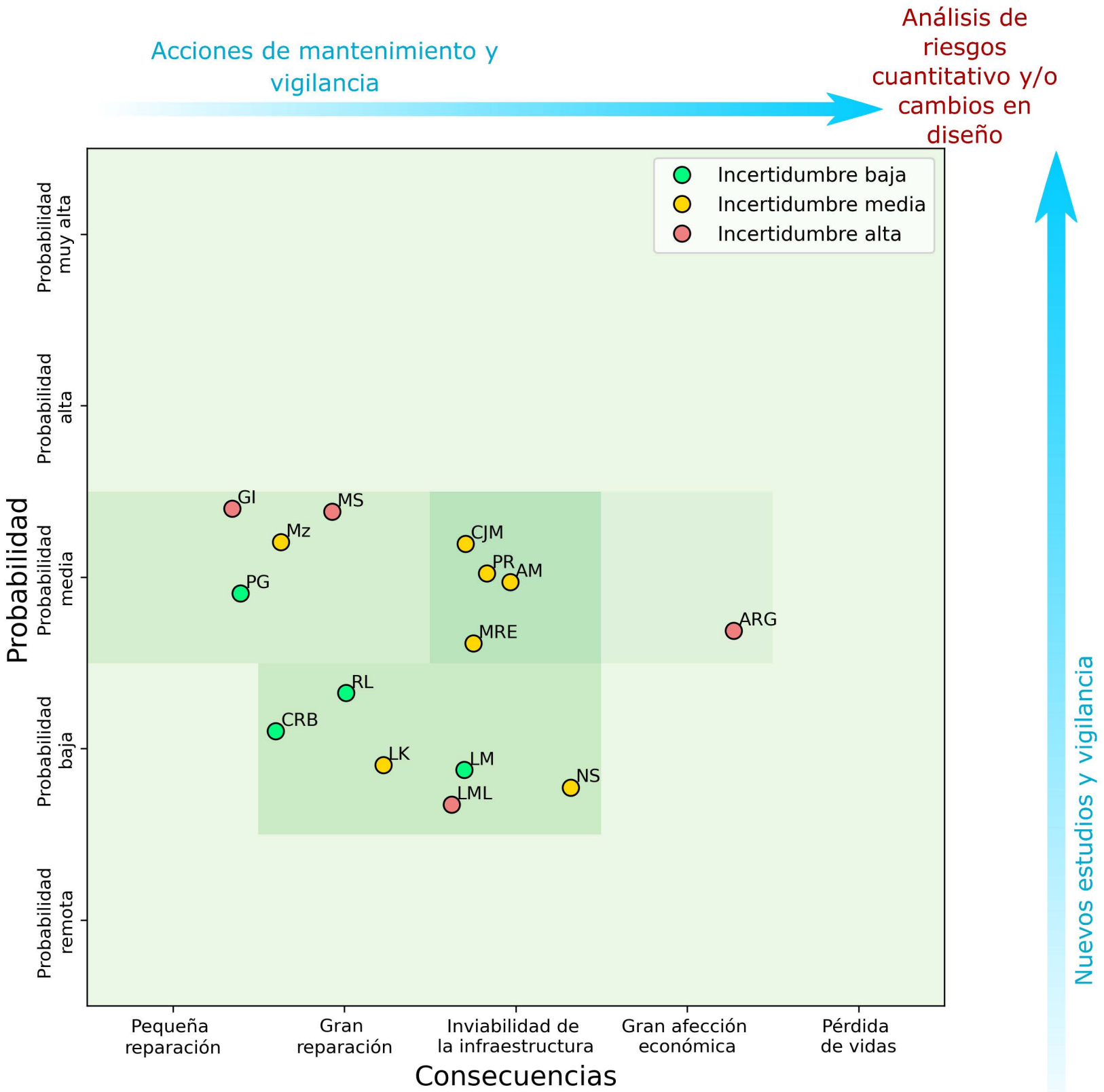


MF3.Crecida, saturación del terraplén y reparación

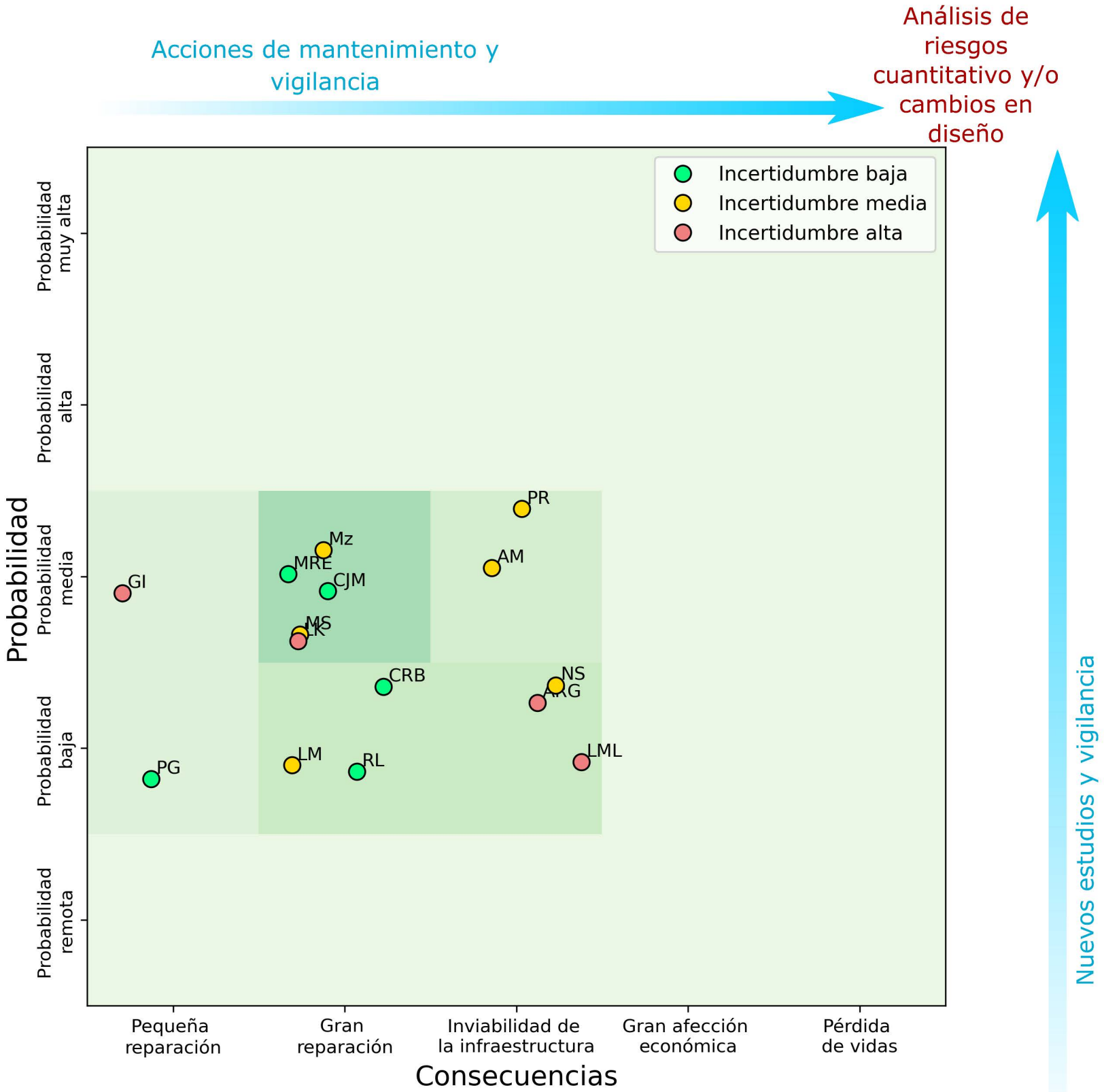


MF4.Crecida durante la construcción y pérdida de equipamientos

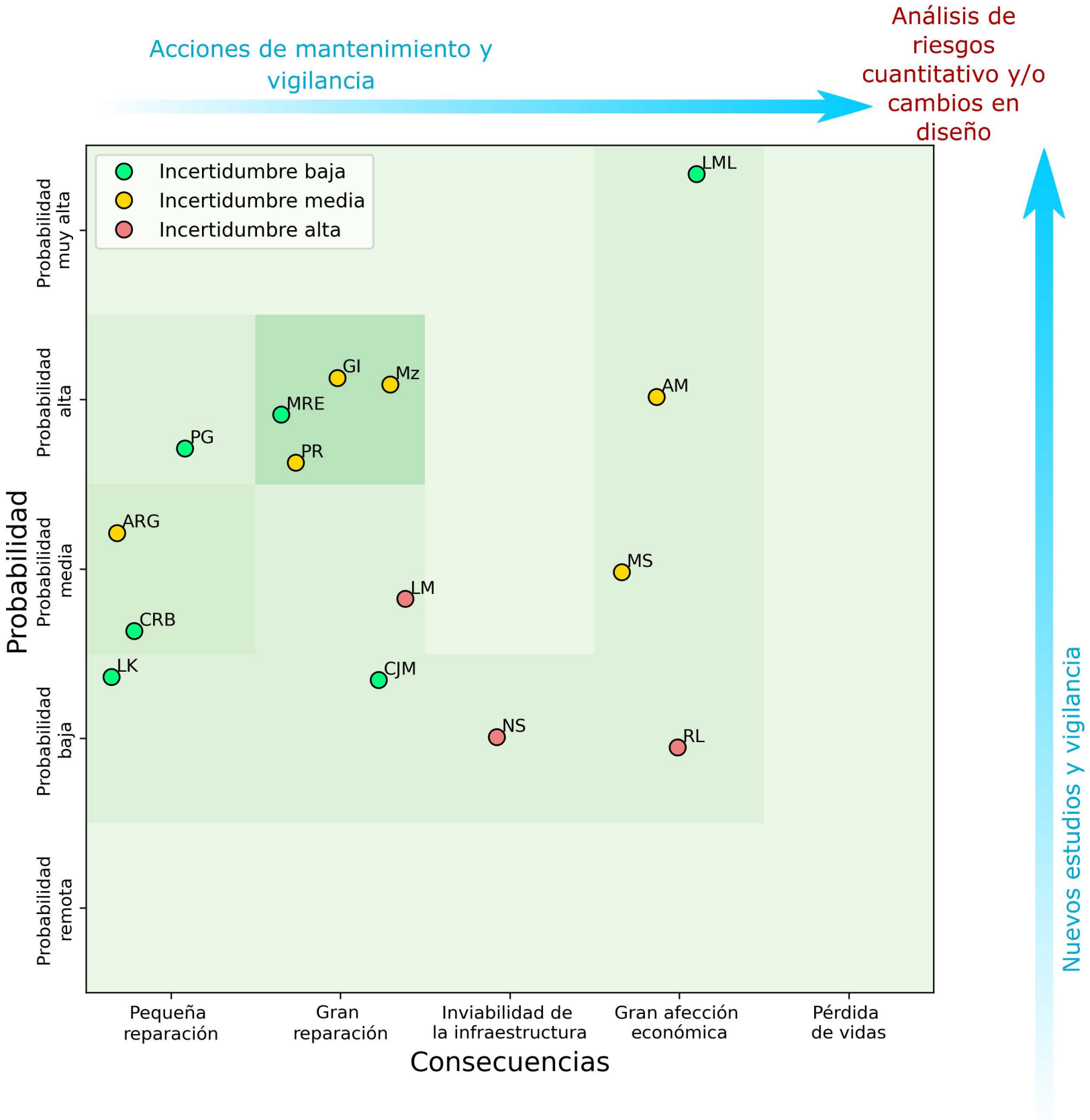
MF5.Erosión en las pilas y fallo del puente



MF6.Erosión del estribo, descalce y fallo del puente

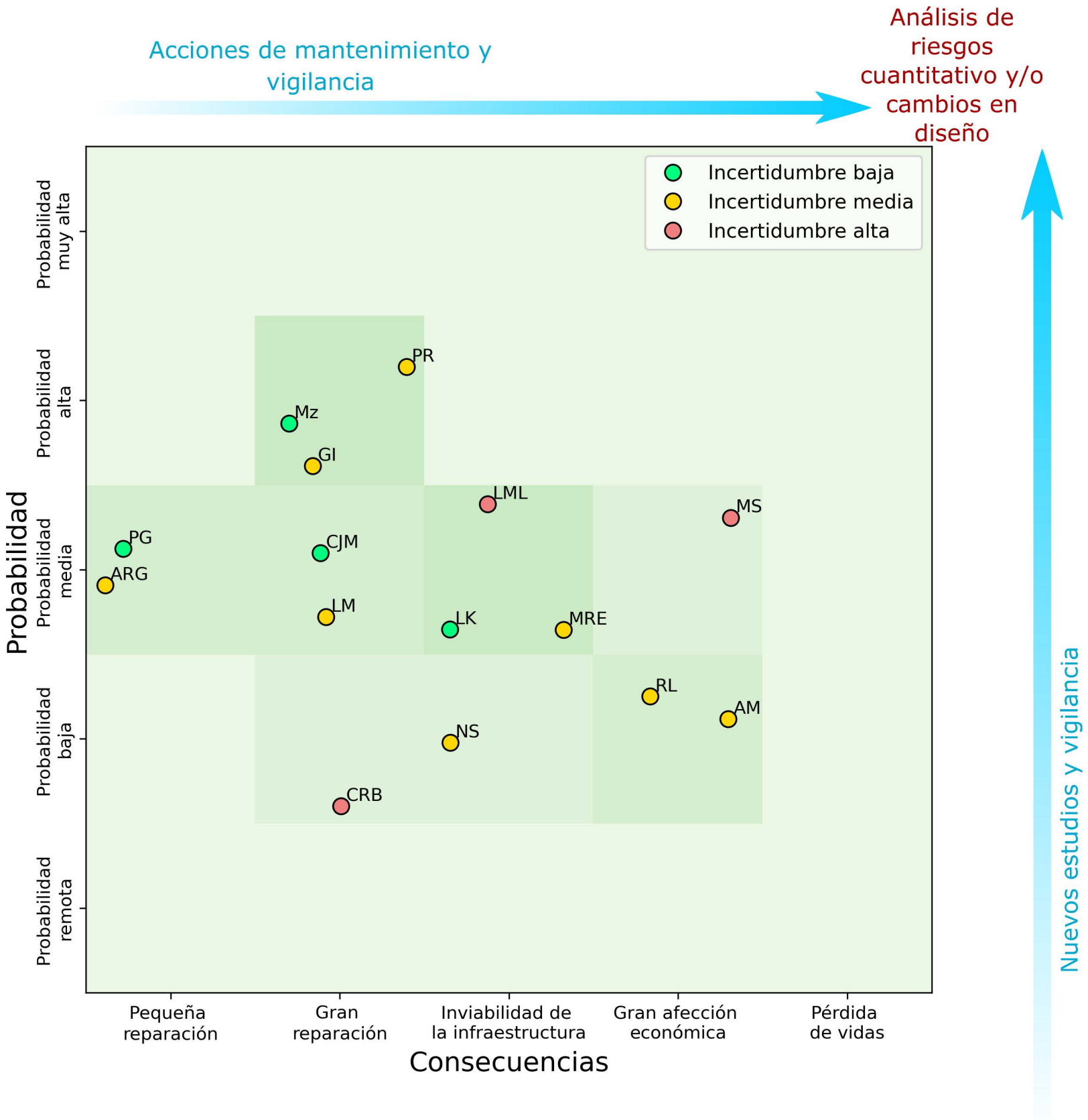


MF7.Precipitación, drenaje inadecuado e inundaciones

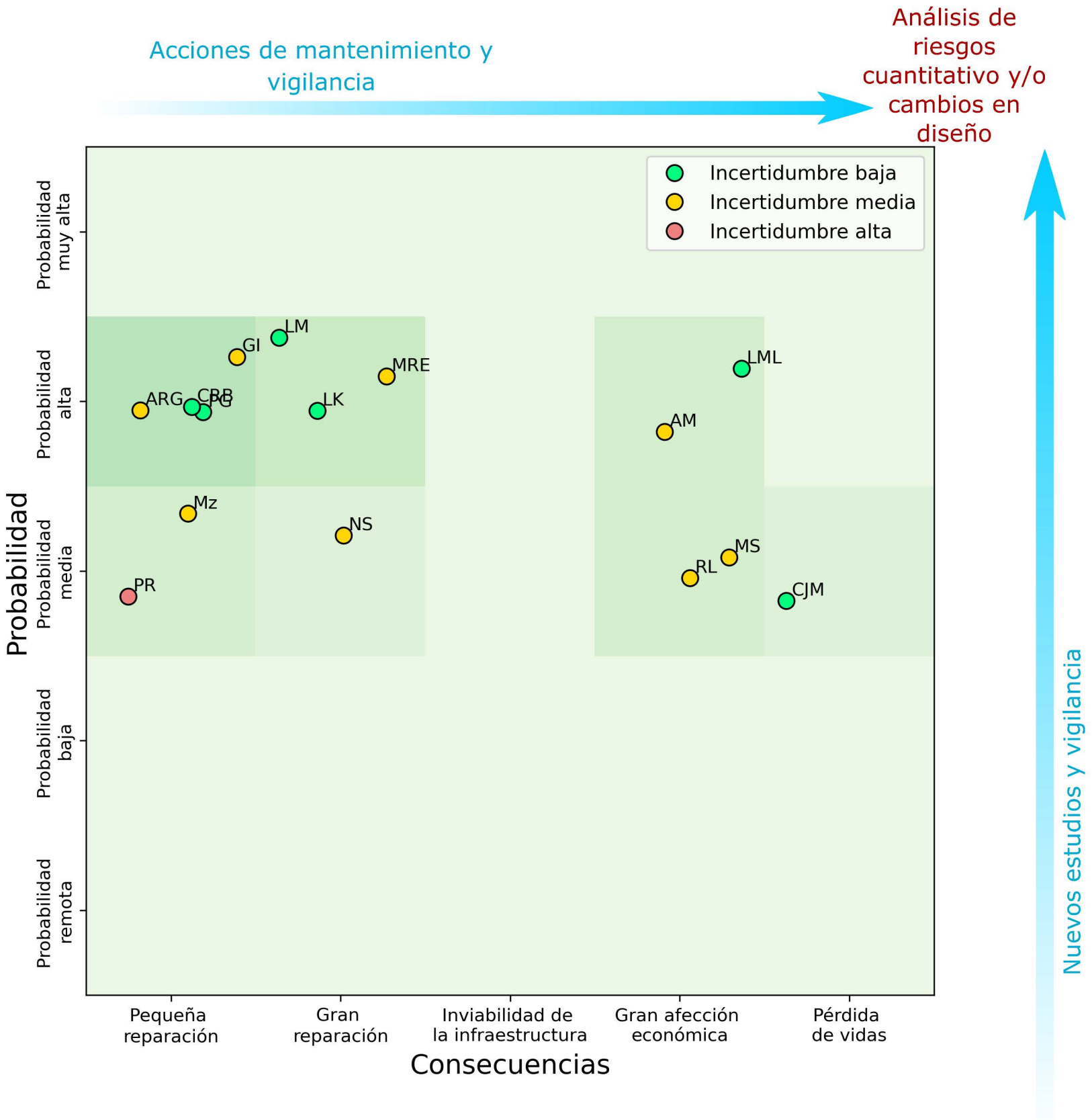


MF8.Fallo defensas, drenaje inadecuado e inundaciones

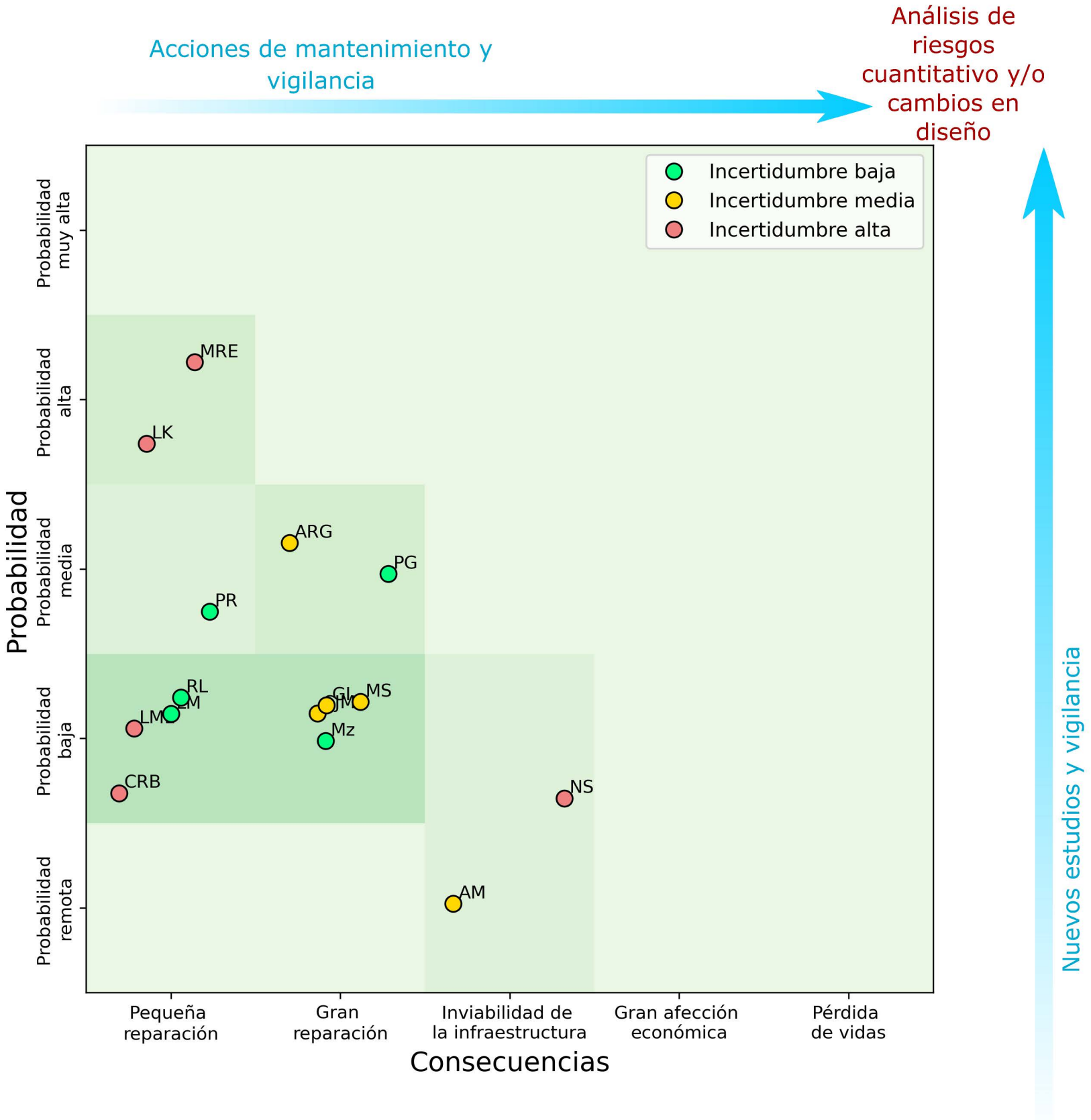
MF9.Crecida, drenaje inadecuado, sobrepaso dique sur e inundaciones



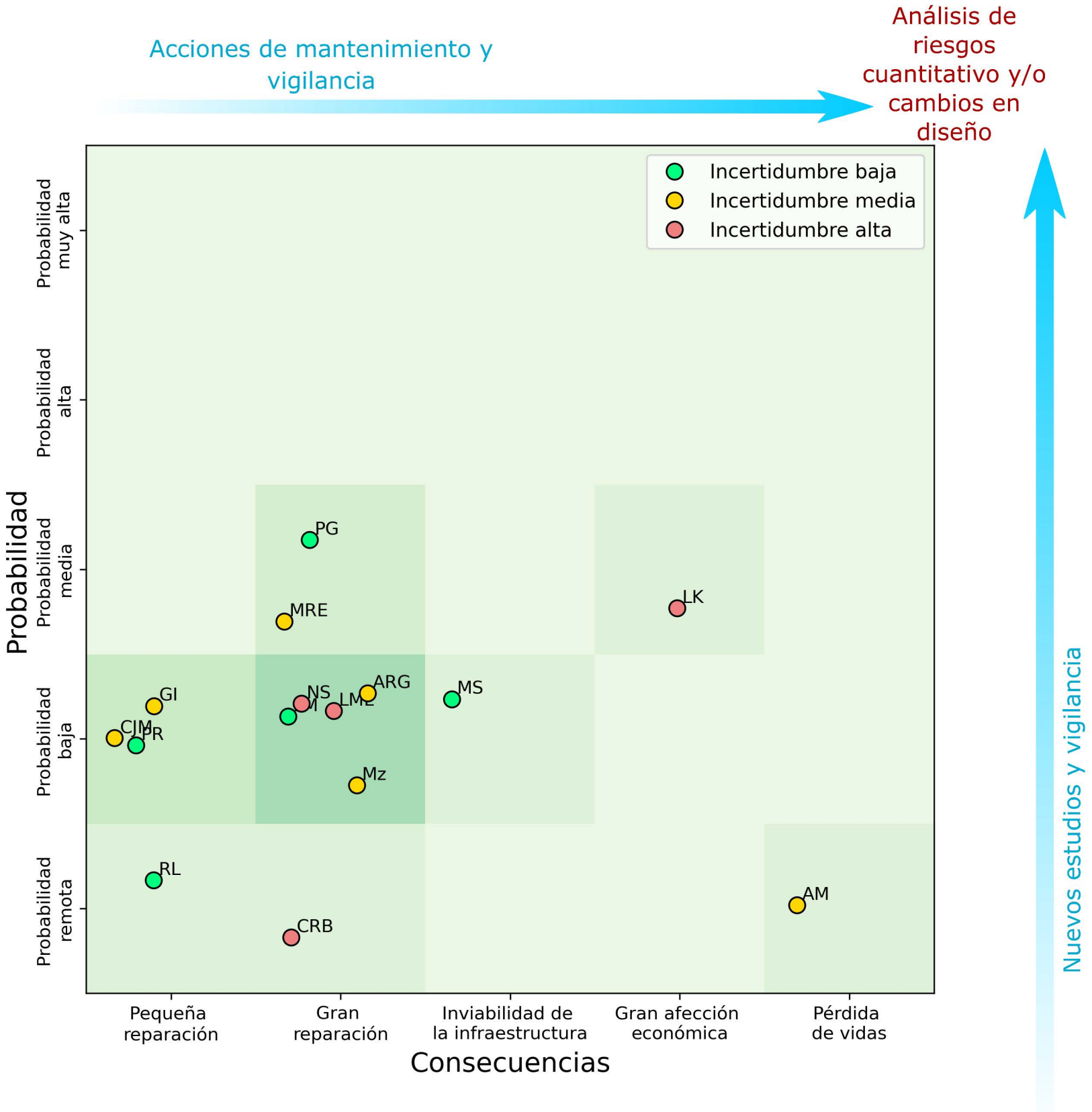
MF10.Falsa sensación de seguridad, asentamientos y consecuencias



MF11.Colisión vehículo, rotura de obenque y reparación

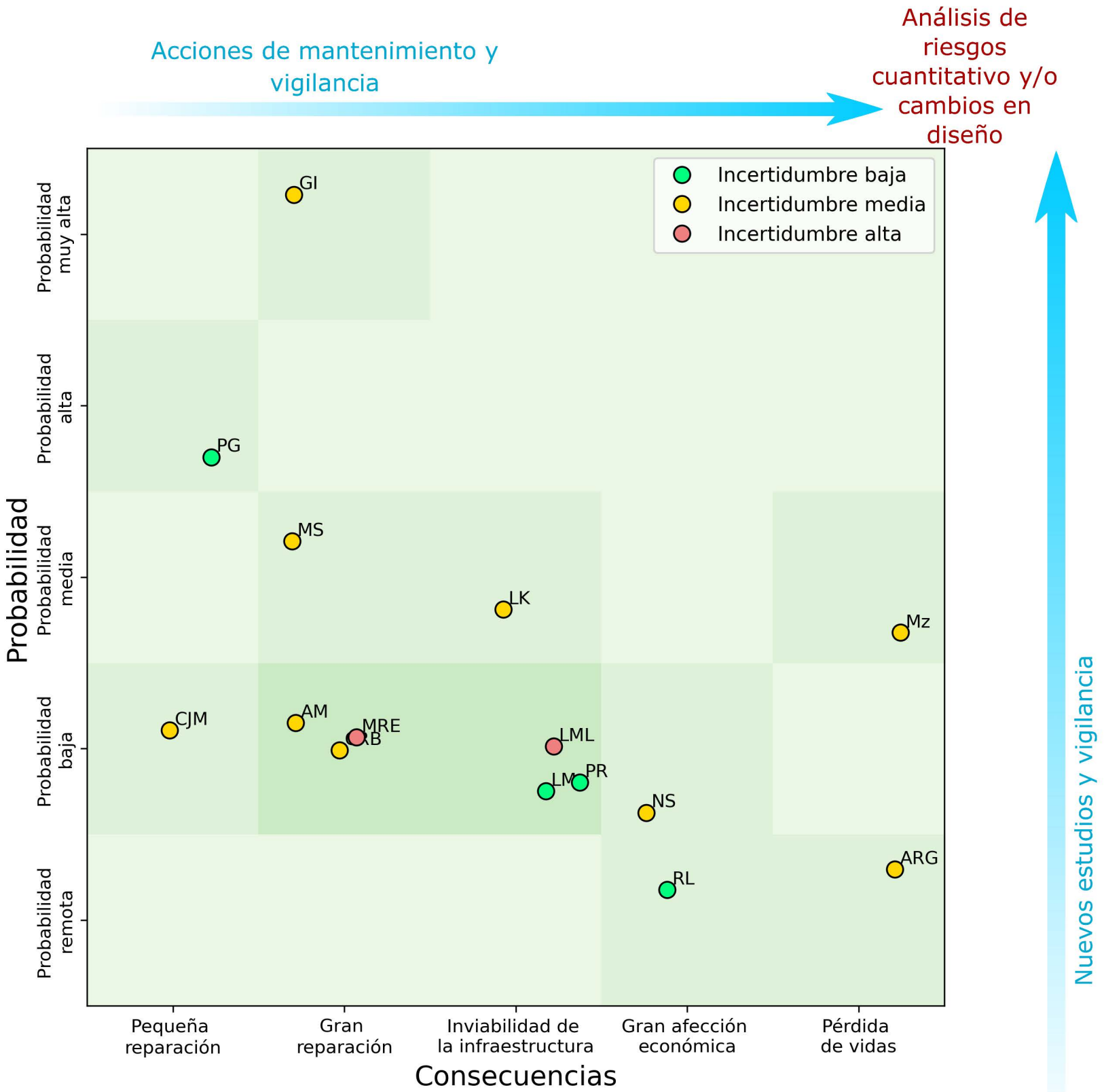


MF12.Viento extremo, rotura obenque y reparación

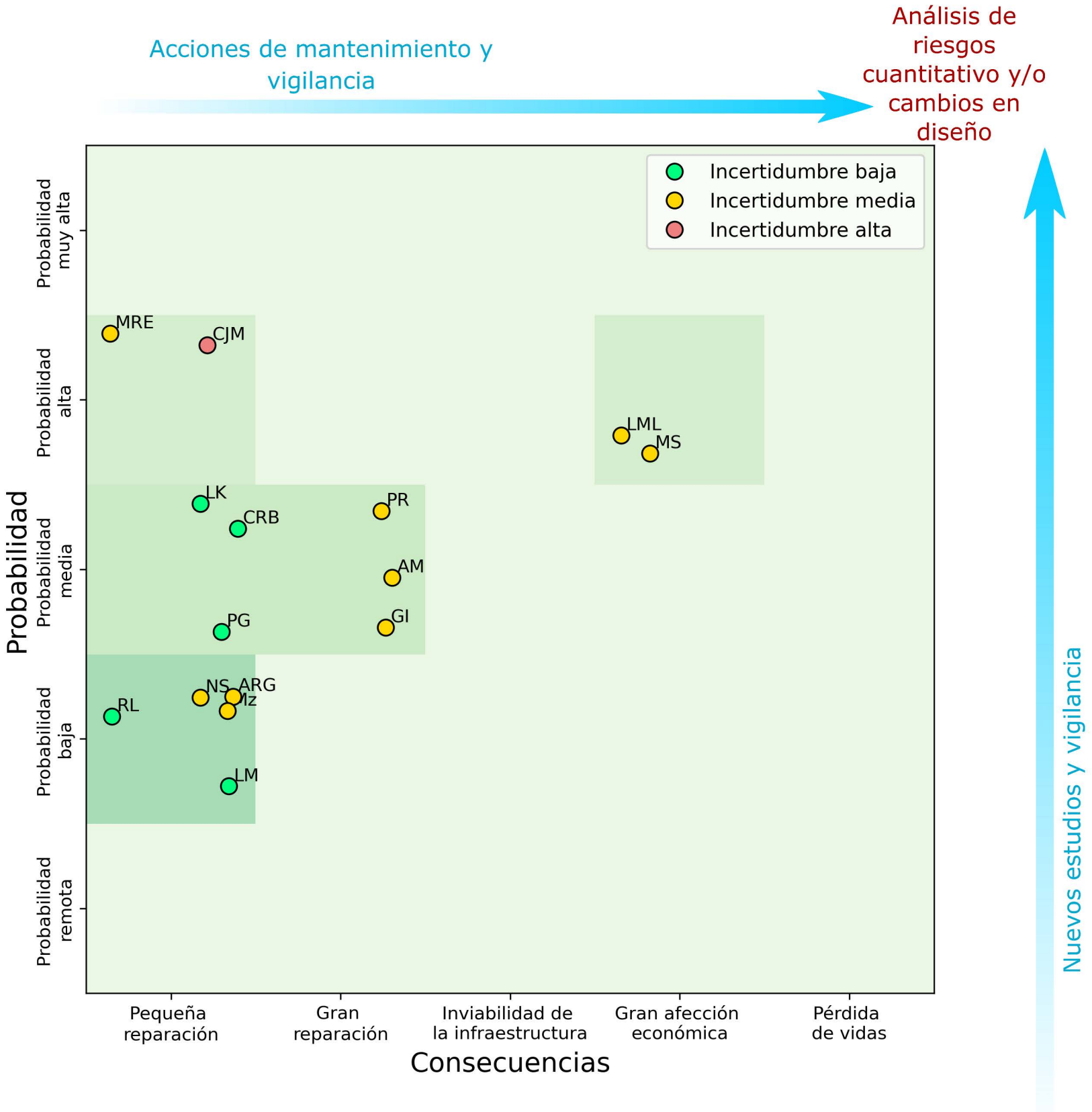


MF13.Choque barcaza, rotura pila y fallo del puente

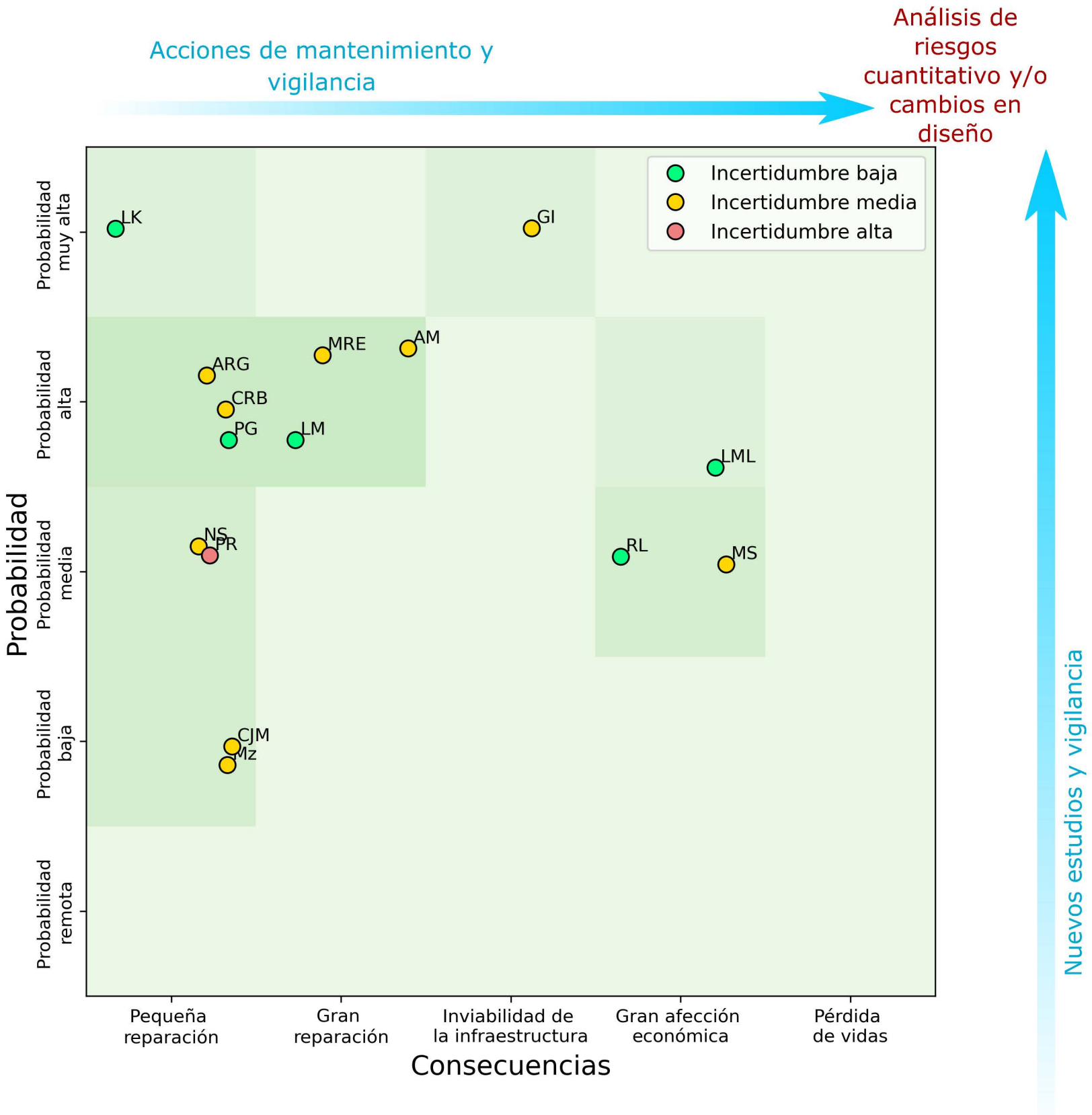
MF14.Accidente, corte del puente, sobrecarga y fallo del puente



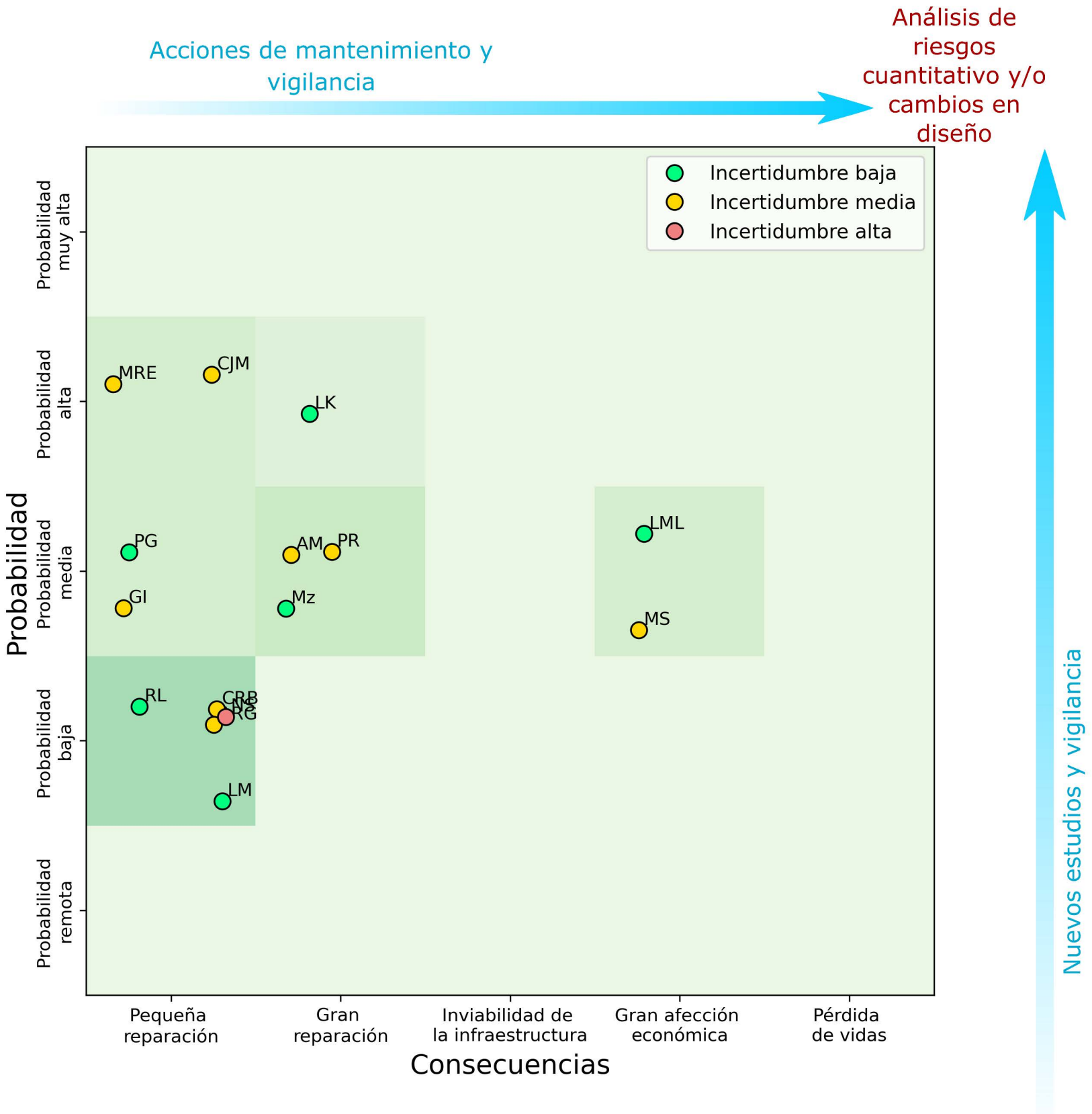
MF15.Choque camiones y vertidos al río



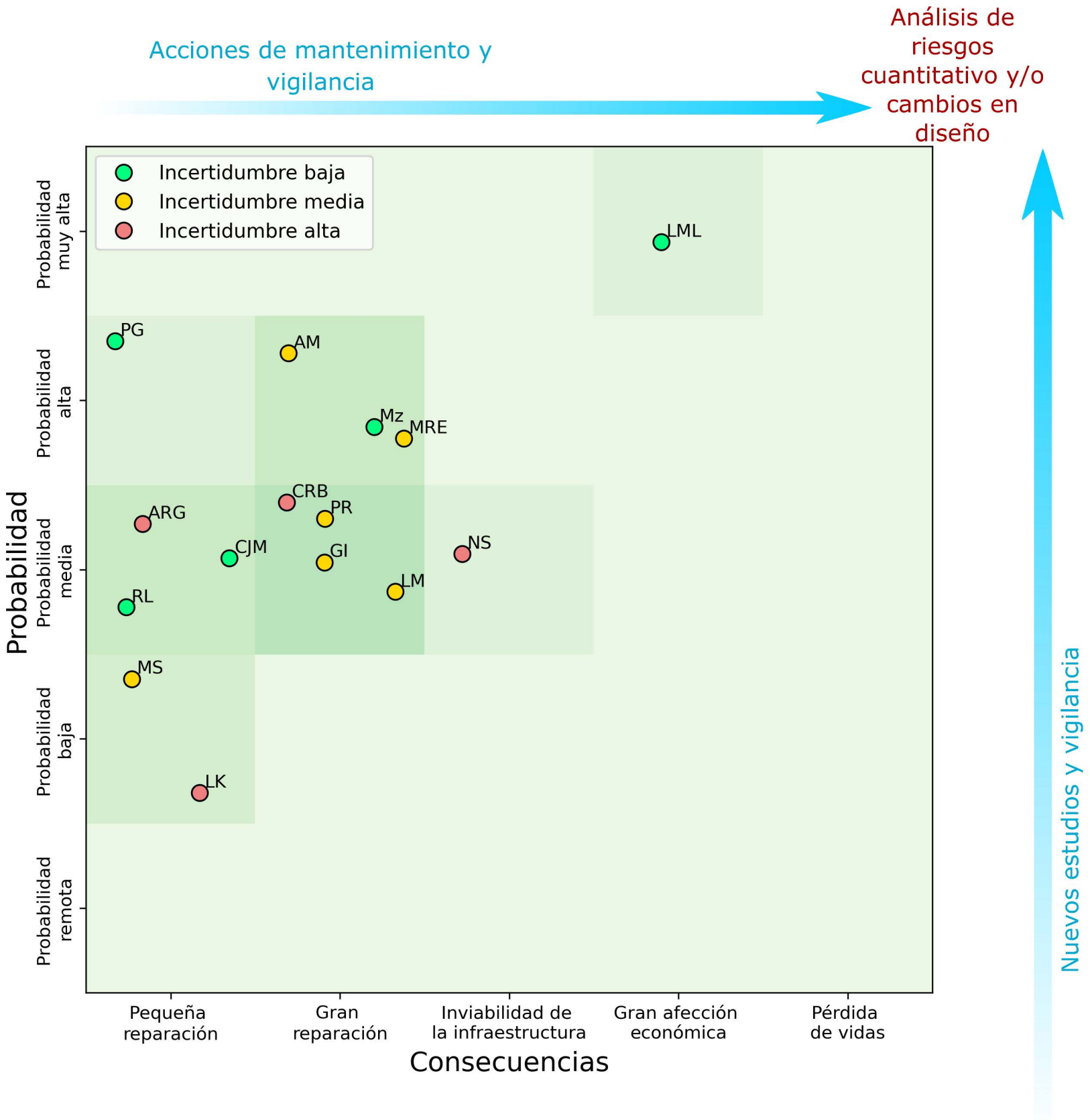
MF16.Conflictos sociales



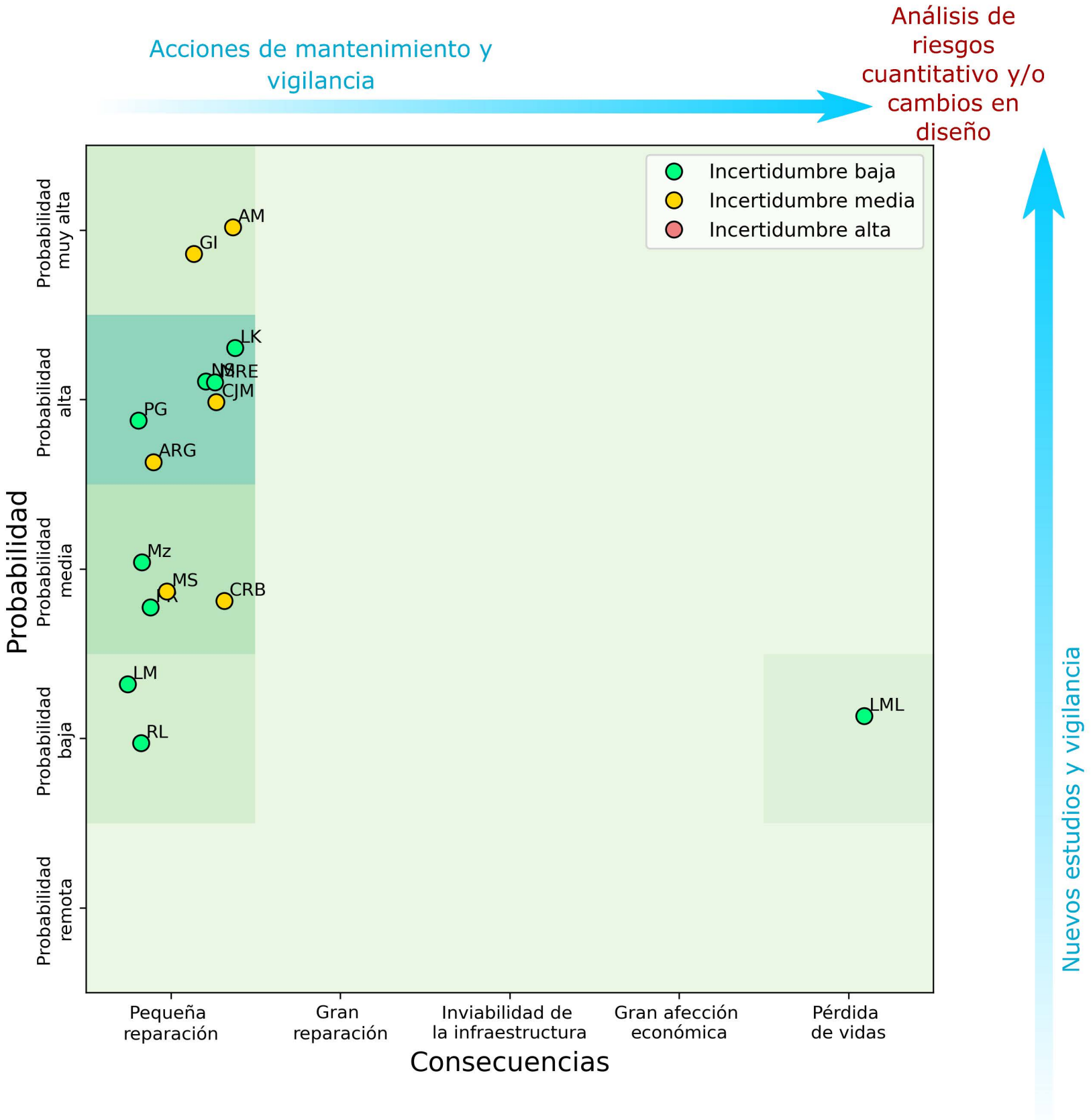
MF17.Choque barcaza y vertidos al río



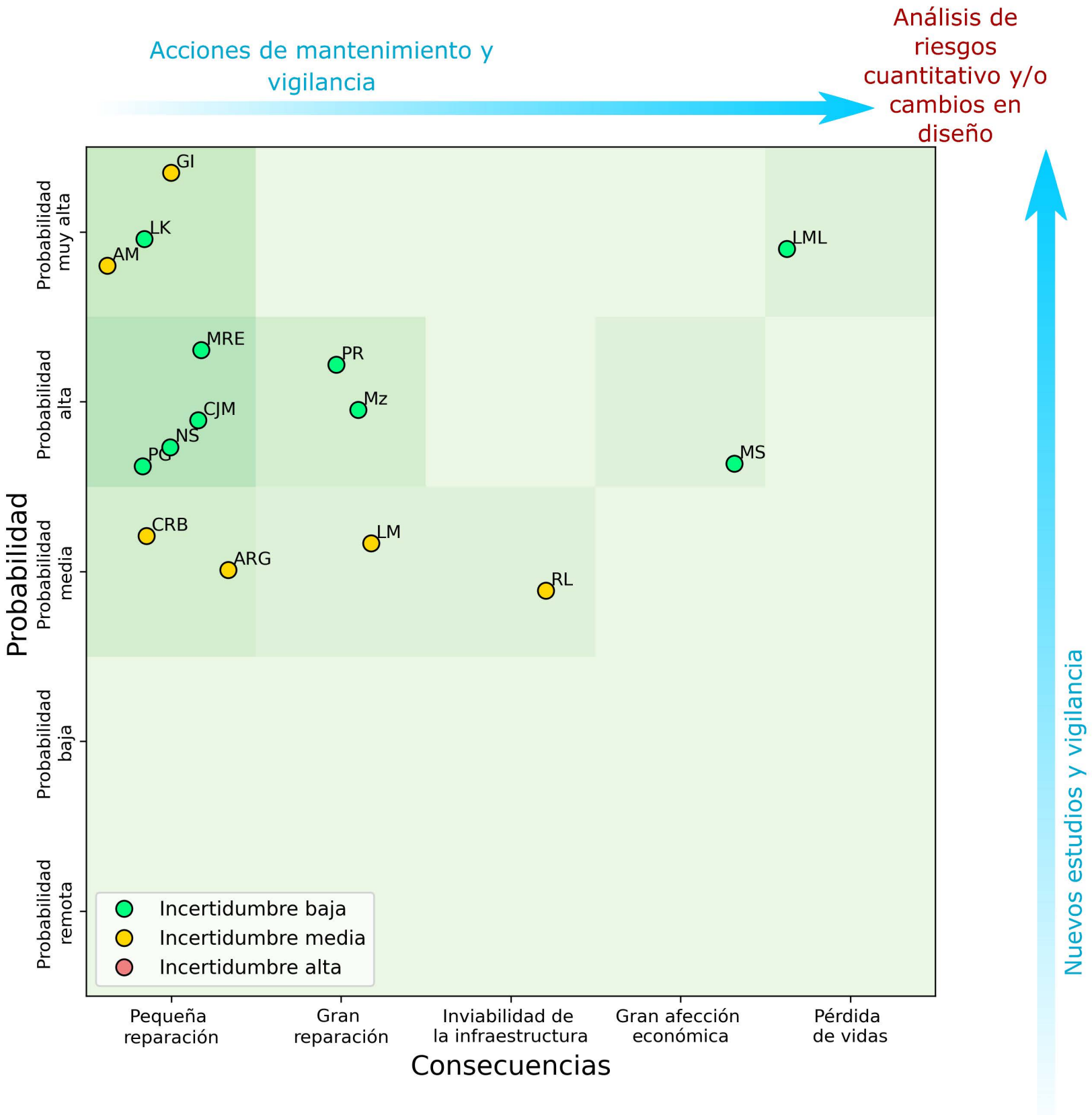
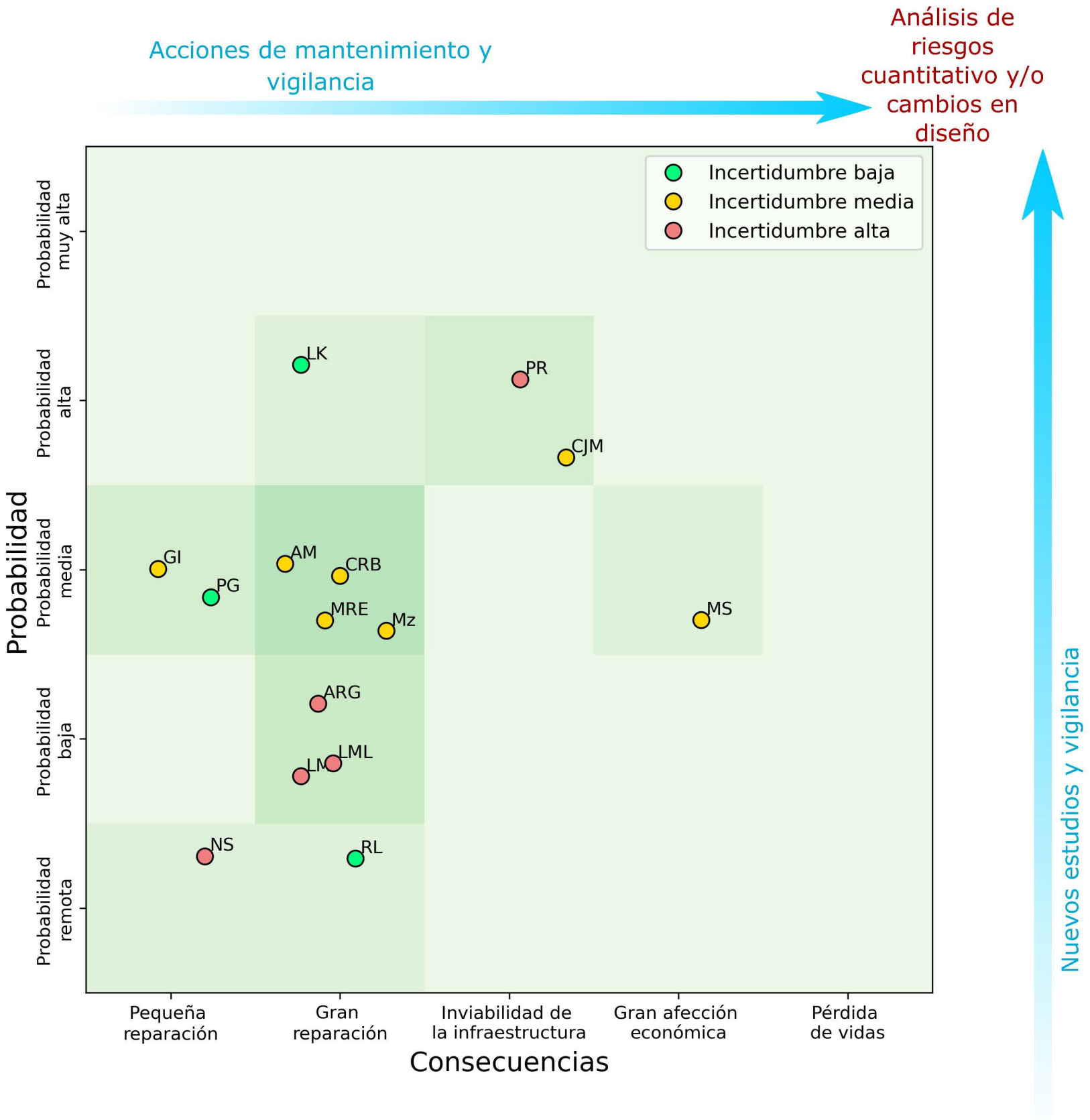
MF18.Modificación del drenaje natural e impactos ambientales



MF19.Falta de pasos de fauna y atropello



MF20.Incendio, generación de humos y cierre de vías



MF21.Cambios en la sedimentación e impedimento del tráfico fluvial