

A los efectos de realizar un análisis, evaluación y proposición de modificaciones al actual Reglamento de Practicaje y Pilotaje, se conformó una matriz de riesgo para evaluar objetivamente la navegación en la Vía Navegable Troncal (VNT) Argentina en la situación de no poseer Práctico a bordo de los buques y con la finalidad de determinar los posibles riesgos que dicha modificación pudiera ocasionar.

Determinación del Riesgo:

El riesgo fue definido como el producto de la probabilidad de ocurrencia de un incidente y el impacto que dicho incidente podría generar. Dado que en Argentina no existen estadísticas específicas sobre buques que naveguen sin práctico, ya que la normativa exige su presencia, la probabilidad debió ser estimada con base en los datos existentes. Por su parte, el impacto fue calculado utilizando una metodología cualitativa basada en la matriz de Leopold.

Método de la Matriz de Leopold:

La matriz de Leopold es una metodología ampliamente utilizada para la identificación y valoración de impactos ambientales. Consiste en un cuadro de doble entrada que relaciona, por un lado, las actividades de un proyecto que pueden causar alteraciones y, por otro, los factores ambientales susceptibles de ser afectados.

Este método permite identificar impactos y determinar su origen, facilitando la estimación de su magnitud e importancia. Aunque la matriz no proporciona valores estrictamente cuantitativos, su aplicación puede enriquecerse mediante escalas numéricas que reflejen la intensidad y relevancia de los impactos.

En su estructura básica, la matriz de Leopold incluye:

- **Actividades del proyecto:** Enumeradas horizontalmente, incluyen todas las acciones que generan alteraciones ambientales, como emisiones, movimientos de tierra, consumo de recursos, generación de residuos, entre otras.
- **Factores:** Listados verticalmente, abarcan componentes físicos, naturales, perceptuales, socioeconómicos e históricos susceptibles de recibir impactos.

Cada intersección en la matriz representa una posible interacción acción-factor. La magnitud y la importancia del impacto se califican generalmente en escalas de 1 a 10, sumando un total de 17,600 posibles valores para una matriz completa. Debido a la complejidad de manejar tantos datos, es común focalizar el análisis en los impactos considerados más significativos.

Fórmula de Valoración del Impacto:

La matriz utiliza una fórmula para calcular la **importancia** de cada impacto, expresada como:

$I = \pm [3I + 2Ex + Mo + Pe + Rv + Si + Ac + Ef + Pr + Mc]$, donde:

- **I:** Intensidad.
- **Ex:** Extensión.
- **Mo:** Momento.
- **Pe:** Persistencia.
- **Rv:** Reversibilidad.
- **Si:** Sinergia.
- **Ac:** Acumulación.
- **Ef:** Efecto.
- **Pr:** Periodicidad.
- **Mc:** Recuperabilidad.

La importancia del impacto+- (I) se clasifica en cuatro niveles:

1. **Irrelevante ($I < 25$).**
2. **Moderado ($25 \leq I < 50$).**
3. **Severo ($50 \leq I < 75$).**
4. **Crítico ($I \geq 75$).**

Ventajas de la Matriz de Leopold:

1. Permite una identificación estructurada y sistemática de impactos.
2. Facilita la visualización y comparación de los efectos de un proyecto en diferentes componentes.
3. Es adaptable, pudiendo aplicarse de manera cualitativa o semicuantitativa según el nivel de detalle requerido.

En este caso, la matriz de Leopold fue utilizada para calcular el impacto de cada factor relevante en la navegación sin práctico. El análisis fue complementado con la participación de un panel interdisciplinario que evaluó las interacciones acción-factor, asignando valores a los distintos criterios definidos en la fórmula de importancia.

Análisis del Impacto:

A efectos de calcular el impacto, se empleó la matriz de Leopold, siguiendo los parámetros cualitativos establecidos en dicho marco metodológico. La matriz divide los factores en tres grupos principales:

1. **Seguridad de la Navegación.**
2. **Protección Ambiental.**
3. **Salvaguardia de la Vida Humana.**

Cada grupo contiene subfactores que fueron evaluados utilizando los siguientes criterios: naturaleza del impacto (positivo o negativo), intensidad, extensión, momento, persistencia, reversibilidad, sinergia, acumulación, efecto, periodicidad y recuperabilidad.

Cada uno de estos factores fue calificado según escalas predefinidas, asignándoles valores numéricos específicos (baja, media, alta, muy alta y total), conforme a los lineamientos de Leopold.

Para garantizar la precisión de las calificaciones, se conformó un comité interdisciplinario compuesto por especialistas en navegación, seguridad marítima y protección ambiental, quienes evaluaron los posibles efectos de un accidente bajo condiciones de navegación sin práctico en la Hidrovía.

Las calificaciones obtenidas fueron integradas en la fórmula del impacto: **Naturaleza del Impacto + (3 × Intensidad) + (2 × Extensión) + Momento + Persistencia + Reversibilidad + Sinergia + Acumulación + Efecto + Periodicidad + Recuperabilidad.**

Esta metodología permitió determinar un valor cualitativo del impacto para cada uno de los subfactores analizados.

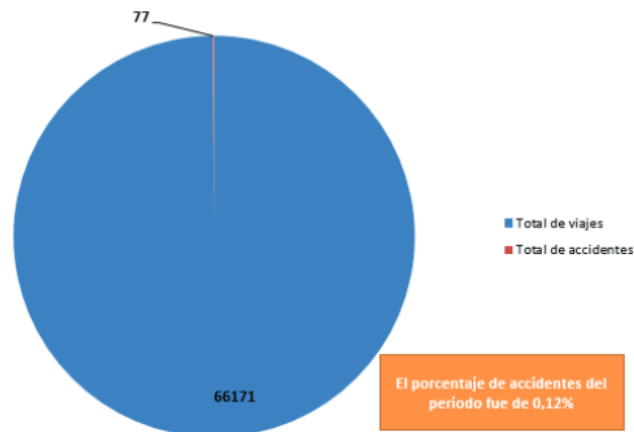
NATURALEZA DEL IMPACTO		INTENSIDAD DEL IMPACTO (IN) (Grado de Destrucción)		EXTENSIÓN DEL IMPACTO (EX) (Área de Influencia)	
Impacto beneficioso	+	Baja	1	Puntual	1
Impacto perjudicial	-	Media	2	Parcial	2
		Alta	4	Extenso	4
		Muy Alta	8	Total	8
		Total	12	Crítica	(+4)
MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)		PERSISTENCIA DEL IMPACTO (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Largo Plazo	1	Fugaz	1	Corto Plazo	1
Medio Plazo	2	Temporal	2	Medio Plazo	2
Inmediato	4	Permanente	4	Irreversible	4
Crítico	(+4)				
SINERGIA (SI) (Potenciación de la manifestación)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)		EFECTO (EF) (Relación causa-efecto)	
Sin Sinergismo (simple)	1	Simple	1	Indirecto (secundario)	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4	Directo	4
Muy Sinérgico	4				
PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)		RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción por medios humanos)		IMPORTANCIA (I)	
Irregular o aperiódico y discontinuo	1	Recuperable inmediato	1	I = ±(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)	
Periódico	2	Recuperable medio plazo	2		
Continuo	4	Mitigable y/o compensable	4		
		Irrecuperable	8		

Análisis de la Probabilidad:

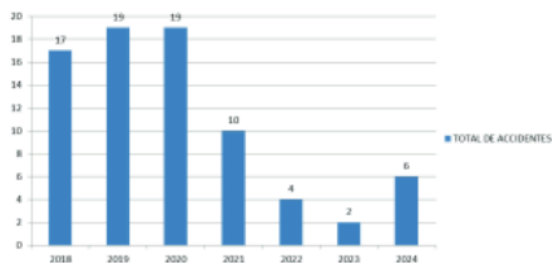
Para estimar la probabilidad de incidentes, se utilizaron los datos estadísticos proporcionados por la DTRA sobre el tráfico en la Hidrovía durante el período comprendido entre los años 2018 y 2024.

- Total de viajes registrados: **66.171 viajes** (sumatoria de arribos y partidas).
- Incidentes atribuibles a errores humanos: **77 casos**.

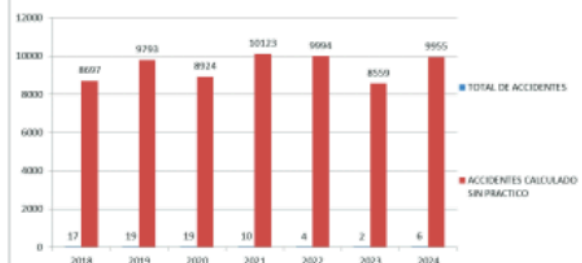
Viajes/accidentes en el periodo 2018-2024



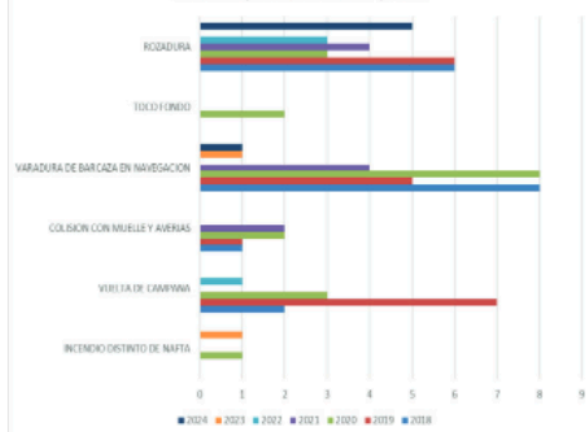
Accidentes ocurridos por año



Accidentes ocurridos vs Sin practico (calculado) por año



Incidentes prod. error humano por año



Es importante destacar que estos incidentes se registraron en un escenario donde todos los buques contaban con la presencia de práctico. Este análisis permitió establecer una

probabilidad base de incidentes bajo las condiciones actuales.

Cálculo de la Probabilidad sin Práctico:

Una vez obtenido el **factor K local**, determinado como **1,64** (considerando únicamente el ancho del canal como variable), procedimos a calcular la probabilidad de incidentes sin práctico.

El factor K local fue utilizado para estimar el incremento de incidentes en un escenario sin práctico, siguiendo el enfoque metodológico basado en la "Evaluación de Riesgos Marítimos" de la Autoridad Portuaria de Prince Rupert (Columbia Británica, Canadá), realizada por Veritas Noruegas. Según esta metodología, el factor K superior a uno refleja un riesgo por encima de la media mundial debido a las características específicas de un tramo de navegación.

Para obtener valor del factor K local

Datos

Largo de la Vía Navegable trocal Arg	1477	km
Ancho promedio	110	m
Profundidad promedio	5,9	m

Manga máxima	30
Ancho del Buque para doble vía	6
Ancho ideal	180
Factor de aumento	1,64

$$\text{Ancho ideal} = 6 \times \text{Manga del buque}$$

$$\text{Factor de aumento} = \frac{\text{ancho promedio de la VTS}}{\text{ancho ideal}}$$

Para el cálculo de la probabilidad sin práctico, se asumió que el práctico absorbe la diferencia entre los incidentes actuales y los incidentes ajustados por el factor K. Así, se aplicó la fórmula:

$$\text{Probabilidad sin práctico} = 1 - (\text{incidentes actuales} \times \text{factor K}) / \text{total de viajes.}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Probabilidad sin práctico} = 1 - ((77 \times 1,64) / 66.171).$$

El resultado obtenido fue de **0,9981**, que se adoptó como la probabilidad ajustada para escenarios sin práctico.

Integración a la Matriz de Riesgo:

Esta probabilidad ajustada se incorporó a cada uno de los factores y subfactores previamente categorizados en la matriz de riesgo. La probabilidad fue multiplicada por los valores de impacto calculados mediante la fórmula de Leopold, obteniendo así el **riesgo absoluto** asociado a cada subfactor

Ponderación de Factores e Índices Ponderales:

Es fundamental comprender que no todos los posibles accidentes o impactos considerados en la matriz tienen la misma probabilidad ni relevancia. Por esta razón, se adoptó la metodología de la matriz de Leopold, que propone asignar un **índice ponderal** a cada uno de los factores y subfactores analizados.

El índice ponderal se establece distribuyendo **cien unidades** entre los factores principales definidos en la matriz:

1. **Seguridad de la Navegación:** 60 unidades.
2. **Protección Ambiental:** 5 unidades.
3. **Salvaguardia de la Vida Humana:** 35 unidades.

Esta distribución refleja la importancia relativa de cada factor en el contexto operativo de la Hidrovía, priorizando aquellos con mayor impacto y probabilidad según la experiencia de la autoridad marítima.

La ponderación se subdividió posteriormente en las distintas subcategorías o subfactores, tales como varaduras, colisiones, hundimientos, derrames de hidrocarburos, entre otros. Esta clasificación fue el resultado del análisis conjunto realizado por un **panel interdisciplinario** compuesto por expertos en navegación, seguridad marítima y medio ambiente.

Por ejemplo, los **derrames de hidrocarburos** recibieron una ponderación menor debido a la existencia de un Plan Nacional de Contingencias que permite una respuesta organizada y efectiva. En cambio, situaciones como la **varadura de un buque**, que podría obstruir la Hidrovía y generar un impacto significativo en las operaciones, fueron consideradas de mayor relevancia.

De esta manera, los índices ponderales asignados garantizan que la matriz de riesgo refleje con precisión la jerarquía de importancia y probabilidad de los distintos escenarios, alineándose con las prioridades operativas y estratégicas de la navegación en la Hidrovía.

Cálculo del Riesgo Relativo y el Impacto Total de la Matriz:

Una vez calculado el **riesgo absoluto** para cada subfactor, se procedió a determinar el **riesgo relativo**. Este cálculo permite ajustar el riesgo absoluto según su importancia dentro de la categoría correspondiente, garantizando una representación proporcional al índice ponderal asignado.

La fórmula utilizada fue:
Riesgo Relativo = Riesgo Absoluto del Subfactor × (Índice Ponderal del Subfactor / Índice Ponderal de su Categoría).

Por ejemplo, en el caso de **varadura**, el riesgo absoluto de este subfactor fue multiplicado por el índice ponderal asignado a la varadura y dividido por el índice ponderal total de la categoría **Seguridad de la Navegación**. Este procedimiento se repitió para cada subfactor en las tres categorías principales:

1. Seguridad de la Navegación.
2. Protección Ambiental.
3. Salvaguardia de la Vida Humana.

Finalmente, los riesgos relativos de todos los subfactores fueron **sumados** para obtener el **impacto total** de la matriz, proporcionando una visión integral del riesgo asociado a la navegación sin práctico en la Hidrovía.

Este enfoque asegura que el análisis refleje no solo la magnitud de los riesgos individuales, sino también su peso relativo dentro del sistema, alineándose con las prioridades operativas y estratégicas definidas.

		UIP -	Probabilidad	Impacto	Riesgo absoluta	Riesgo relativo
Seguridad de la navegación:	Varadura	10,00	0,9981	-49,0000	-48,91	-8,15
	Colisiones con otros barcos	10,00	0,9981	-82,0000	-81,84	-13,64
	Hundimiento	1,00	0,9981	-93,0000	-92,82	-1,55
	Desviaciones de ruta	1,00	0,9981	-49,0000	-48,91	-0,82
	Errores en maniobras	10,00	0,9981	-65,0000	-64,88	-10,81
	Comunicación nula o deficiente	10,00	0,9981	-93,0000	-92,82	-15,47
	Falta de conocimiento de ruta	5,00	0,9981	-94,0000	-93,82	-7,82
	Falta de coordinación puente a puente	5,00	0,9981	-93,0000	-92,82	-7,74
	Características del canal de navegación	5,00	0,9981	-93,0000	-92,82	-7,74
	Zonas críticas	2,00	0,9981	-94,0000	-93,82	-3,13
	Actuación frente a condiciones hidrometeorológicas	1,00	0,9981	-40,0000	-39,92	-0,67
	Importancia Absoluta	60,00	10,98	-845,00	-843,39	
	Importancia Relativa	60,00	0,98	-12,51		-77,52
Protección del Ambiente:	Derrames de hidrocarburos	2,00	0,9981	-26,0000	-25,95	-10,38
	Contaminación por SUSTANCIAS NOCIVAS, PELIGROSAS, POTENCIALMENTE PELIGROSAS Y PERJUDICIALES (SNPP)	2,00	0,9981	-62,0000	-61,88	-24,75
	Sanciones por daños ambientales	0,50	0,9981	-29,0000	-28,94	-2,89
	Aumento de costos por retrasos	4,00	0,9981	-59,0000	-58,89	-47,11
	Consumo excesivo de combustible	4,00	0,9981	-48,0000	-47,91	-38,33
	Daños a áreas ecológicamente sensibles	5,00	0,9981	-65,0000	-64,88	-64,88
	Multas por incumplimiento normativo	2,00	0,9981	-29,0000	-28,94	-11,58
	Importancia Absoluta	5,00	6,99	-318,00	-317,39	
	Importancia Relativa	5,00	3,89	-63,48		-199,92
Salvaguarda de la vida humana	Lesiones en la tripulación por acaecimiento	7,00	0,9981	-93,0000	-92,82	-18,56
	Estrés y fatiga por acaecimiento	9,00	0,9981	-92,0000	-91,82	-23,61
	Exposición a sustancias tóxicas	1,00	0,9981	-52,0000	-51,90	-1,48
	Impactos psicológicos	7,00	0,9981	-92,0000	-91,82	-18,36
	Afecciones a la salud	1,00	0,9981	-43,0000	-42,92	-1,23
	Muertes por acaecimiento	1,00	0,9981	-72,0000	-71,86	-2,05
	Falta de conocimiento normativo nacional	9,00	0,9981	-82,0000	-81,84	-21,05
	Importancia Absoluta	35,00	6,99	-526,00	-525,00	
	Importancia Relativa	35,00	1,00	-15,00		-86,35
	Importancia Absoluta	100	24,95	-1689,00	-1685,78	
	Importancia Relativa	100	5,87	-90,99		-363,79

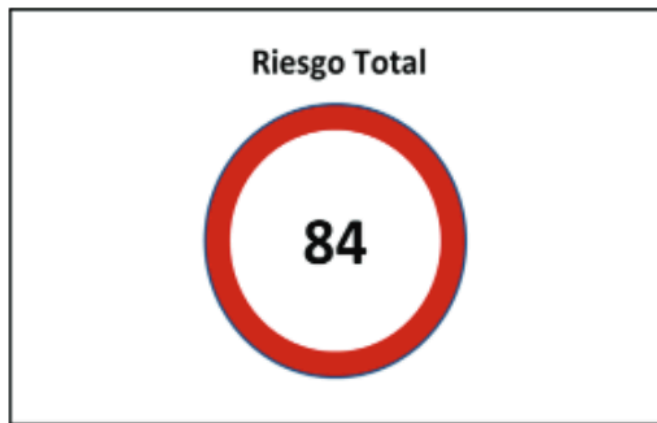
Conclusiones

Para un mejor entendimiento de lo obtenido en la matriz de riesgo, se efectuó un cambio en la escala de los valores de riesgo obtenidos a una escala de 0 a 100. Indicando, el extremo cercano a “0”, riesgo nulo y el extremo cercano “100”, riesgo máximo. A su vez, también se utilizó una escala de colores para indicar según el color de qué riesgo se trata.

La escala de colores es una valoración cualitativa que indica según colores la magnitud del riesgo para cada fila considerada, la cual puede tomar colores definidos en cada uno de los tres intervalos considerados, riesgo alto, medio y bajo, o colores intermedios, los cuales indican que el valor se encuentra entre intervalos.

	Riesgo Alto
	Riesgo Medio
	Riesgo Bajo

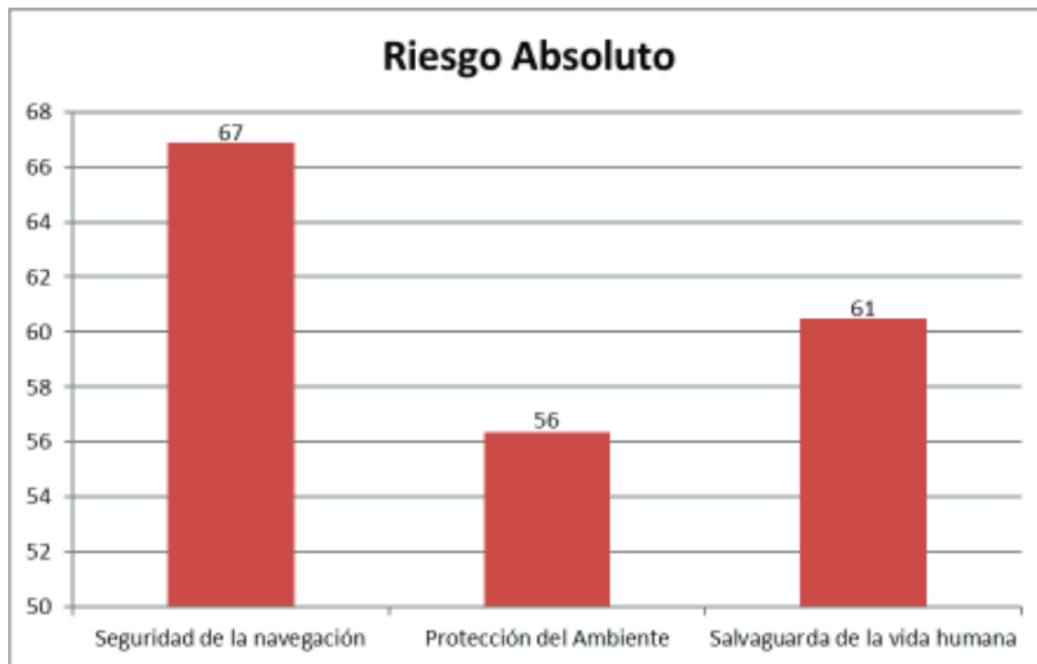
La actividad total de navegación en la hidrovía sin Práctico a bordo se estimó que ocasionará un riesgo de 84 (de 0 a 100), riesgo alto (color rojo):



Se estimó, a su vez, el riesgo que cada grupo (Seguridad de la Navegación, Protección Ambiental y Salvaguarda de la vida humana) contribuye al total de 84, como riesgo relativo:



Como riesgo absoluto, los tres grupos indicaron un valor alto (color rojo) y valores entre 56 y 67 (escala de 0 a 100, valores absolutos).



Bibliografía

- <https://www.argentina.gob.ar/transporte/administracion-general-puertos-se/via-navegable-troncal/la-via-navegable-troncal-en-argentina>.
- PIANC - InCom WG 141 – “Design Guidelines for Inland Waterways Dimensions”.
- “Evaluación de Riesgos Marinos de la Autoridad Portuaria de Prince Rupert” - Las Veritas Noruegas (DNV).
- ONU-CEPAL - “Marco para una clasificación de vías navegables interiores en América del Sur”. Philippe Rigo Ricardo J. Sánchez Fabio Weikert. ISSN: 1680-872X, 2021.

