

Taller Binacional Sobre Prevención y Gestión de Riesgos y Catástrofes (Chile – Perú) 2016



Metodología DFS-Orientado al análisis de riesgo

Innovación en análisis avanzado de riesgo

Nicolás Valenzuela Saavedra
Matías Valenzuela Saavedra

Fecha: 8 y 9 de Marzo 2016

Desastres Latinoamericanos

Daño Estructural en Chile

Método Determinísticos: Descripción y Aplicación

Método Determinísticos: Líneas Futuras de Desarrollo

Desastres Antrópicos: Tranque de relave

Método de simulación DFS (Deslizamientos, avalanchas y piroclasto)

Aplicación Taller

- **Revisión Plantillas de Inspección**
- **Amenazas Ruta 11 Ch**
- **Aplicación Puerto de Arica**



Desastres Internacionales, Latinoamérica y el Caribe



Latinoamérica y Chile han sido expuesto en el último tiempo a variados tipos de catástrofes naturales entre ellos sismos, incendios, actividad volcánica, deslizamientos de lodos, entre otros. Esta condición obliga al desarrollo de métodos de **identificaciones de amenazas, simulación / modelación de escenarios probables, impactos en la sociedad y medidas de control y mitigación**

Stava-1985
(Italia)

Mochikoshi-1978
(Japón)



Desastres LATAM



Terremoto de Haití de 2010 (12 de enero de 2010)

- epicentro a 15 km de Puerto Príncipe, la capital de Haití.
- Magnitud de 7,2 grados
- Muerte 316.000 personas.

Tsunami menor

- Muertes: 4 personas.

Este terremoto ha sido el más fuerte registrado en la zona desde el acontecido en 1770. El sismo fue perceptible en países cercanos como Cuba, Jamaica y República Dominicana, donde provocó temor y **evacuaciones preventivas**.

Desastres LATAM



Terremoto de Valdivia de 1960

- Gran Terremoto de Chile
- 22 de mayo de 1960
- Epicentro Región de la Araucanía
- Magnitud de 9,5 (10 minutos)

Serie de tsunamis

- Muertos 2.000 personas.

Sismo de mayor magnitud registrado

Desastres LATAM



Terremoto de Guatemala

- 4 de febrero de 1976
- Magnitud de 7.5 grados en la escala de Richter
- Epicentro 5 kilómetros a 160 kilómetros al noreste de la capital Ciudad de Guatemala
- Muertes 23.000 personas.

En solo unos segundos un tercio de la capital quedó reducido a escombros y miles de edificios colapsaron;

Desastres LATAM



Erupción del volcán Nevado del Ruiz

- 13 de noviembre de 1985
- Departamento de Tolima, Colombia.

Historia de Omaira Sanchez.

Importancia de sistemas de prevención, emergencia y socorro

Desastres LATAM



Inundación México

- 28 de octubre al 15 de diciembre de 2007
- Estados mexicanos de Tabasco y Chiapas
- Crecidas históricas ríos

Entre el último rescate de personas, y extracción de aguas, demora de 1 mes.

Desastres LATAM



Terremoto de Pisco

- 15 de agosto de 2007
- Epicentro costas del centro del Perú a 150 km al suroeste de Lima,
- Magnitud de 8.0 grados
- Muertes 595 muertos, Heridos 2,291 heridos, Destrucción 76.000 viviendas

Terremoto más violentos ocurridos en el Perú en los últimos años. El siniestro IX en la escala de Mercalli.

Desastres LATAM



Inundación Rio de Janeiro

- Año 2010
- Muertes 100 persona.

La mayoría de las víctimas han sido sepultadas por deslizamientos de tierra en favelas construidas en laderas de cerros, habitados por gente humilde.



Ejemplo de Amenazas y Daños Estructurales Detectadas a lo Largo de Chile



Posible Riesgo en la carretera Iquique-Colchane

Causa	SISMO
Principales Consecuencias	Destrucción infraestructuras Muertes contaminación



DESLIZAMIENTOS

PAIS	CHILE
Lugar	Atacama
Año	2015
Causa	Altas precipitaciones
Principales Consecuencias	Destrucción infraestructuras Muertes contaminación



AVALANCHAS

PAIS	CHILE
Lugar	Sewell
Año	1926-28 -41-44
Causa	Tormenta y lluvia
Principales Consecuencias	Destrucción infraestructuras Muertes contaminación



VOLCANES

PAIS	CHILE
Lugar	Los Ríos Y Araucanía
año	2015
Causa	Erupción volcánica
Principales Consecuencias	Destrucción infraestructuras Muertes contaminación



PAIS	CHILE
Lugar	La Ligua
Año	1965
Tipo de Tranque	Cobre
Causa	Licuación por sismo entre 6-9 Mercalli
Distancia	12 Km
Volumen	2.300.000 m ³
Principales Consecuencias	Contaminación Ambiental , destrucción de la Población y más de 350 Muertos



Estos Desastres repercuten en:



Sociedad



Economía

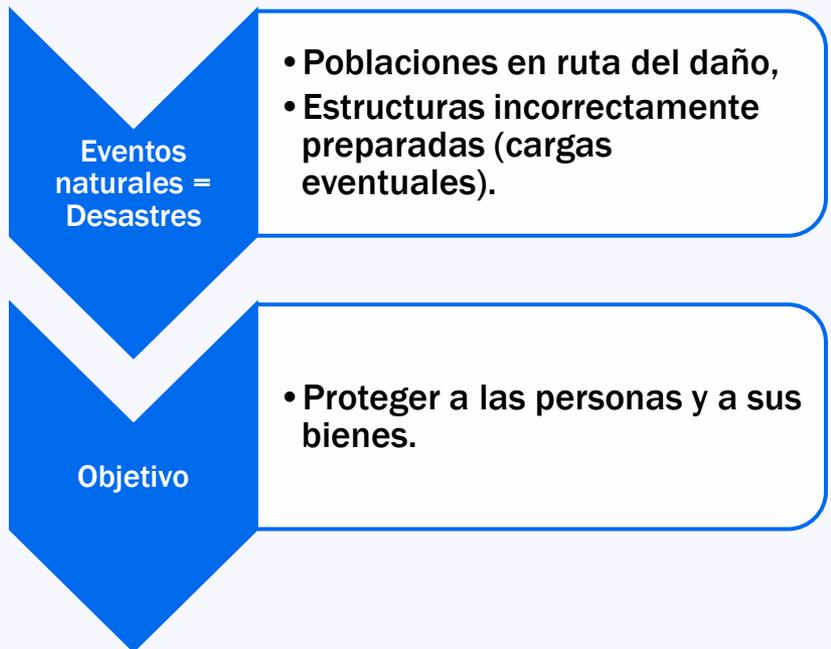


Medio Ambiente

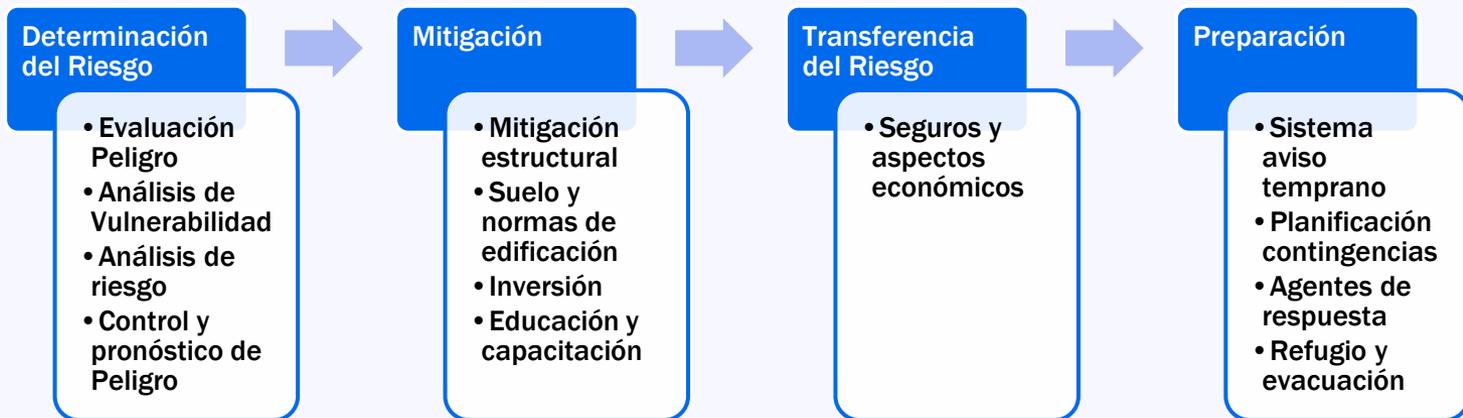


Gestión de Riesgo en LATAM y el Caribe Actualmente

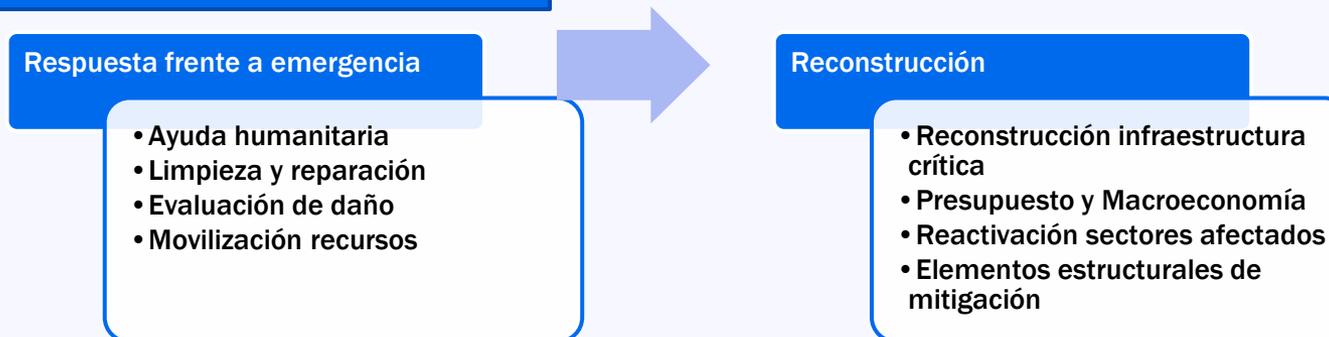




Pre-Desastres



Post-Desastres



Método Determinísticos: Descripción y Aplicación



MÉTODO DETERMINÍSTICO

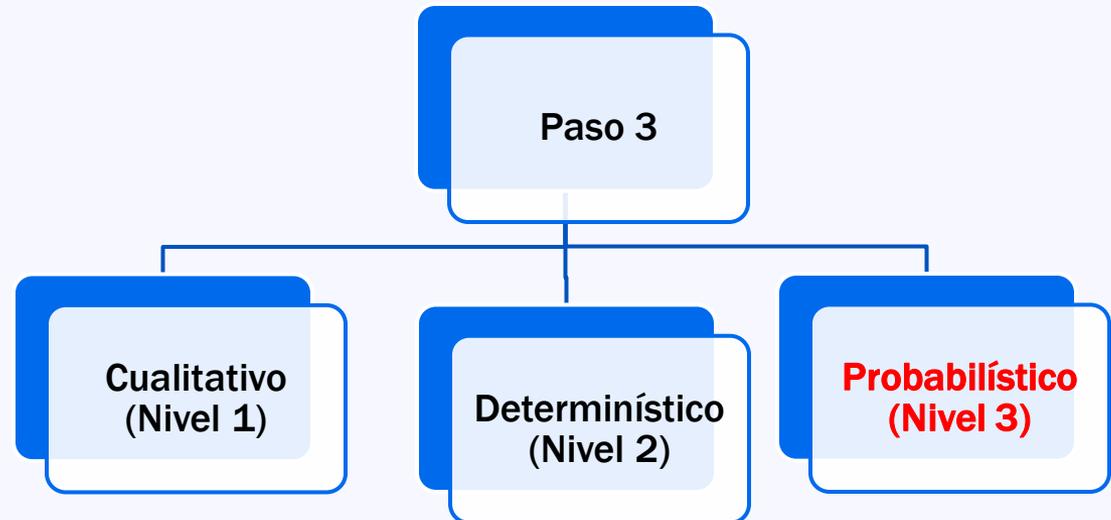
Con el tiempo las distintas estructuras se han visto sometidas a distintos tipos de cargas tanto operativas como excepcionales.

Con el cambio climático estas estructuras se han visto sometidas a amenazas las cuales no se han previsto en su diseño.

El método determinístico pretende prever los daños de una estructura bajo distintos tipos de amenazas y poder prevenir daños futuros.

El método determinístico se actualiza a medida que se realicen inspecciones.

METODOLOGIA COSIPLAN/IIRSA



APLICACIÓN NUEVA METODOLOGIA

METODOLOGÍA COSIPLAN/IIRSA

FASE I

APORTE

FASE II

APORTE

FASE III

APORTE

METODOLOGÍA DFS

**NUEVAS PARTIDAS DE LA FASE I
(AMENAZAS NO DESARROLLADAS)**

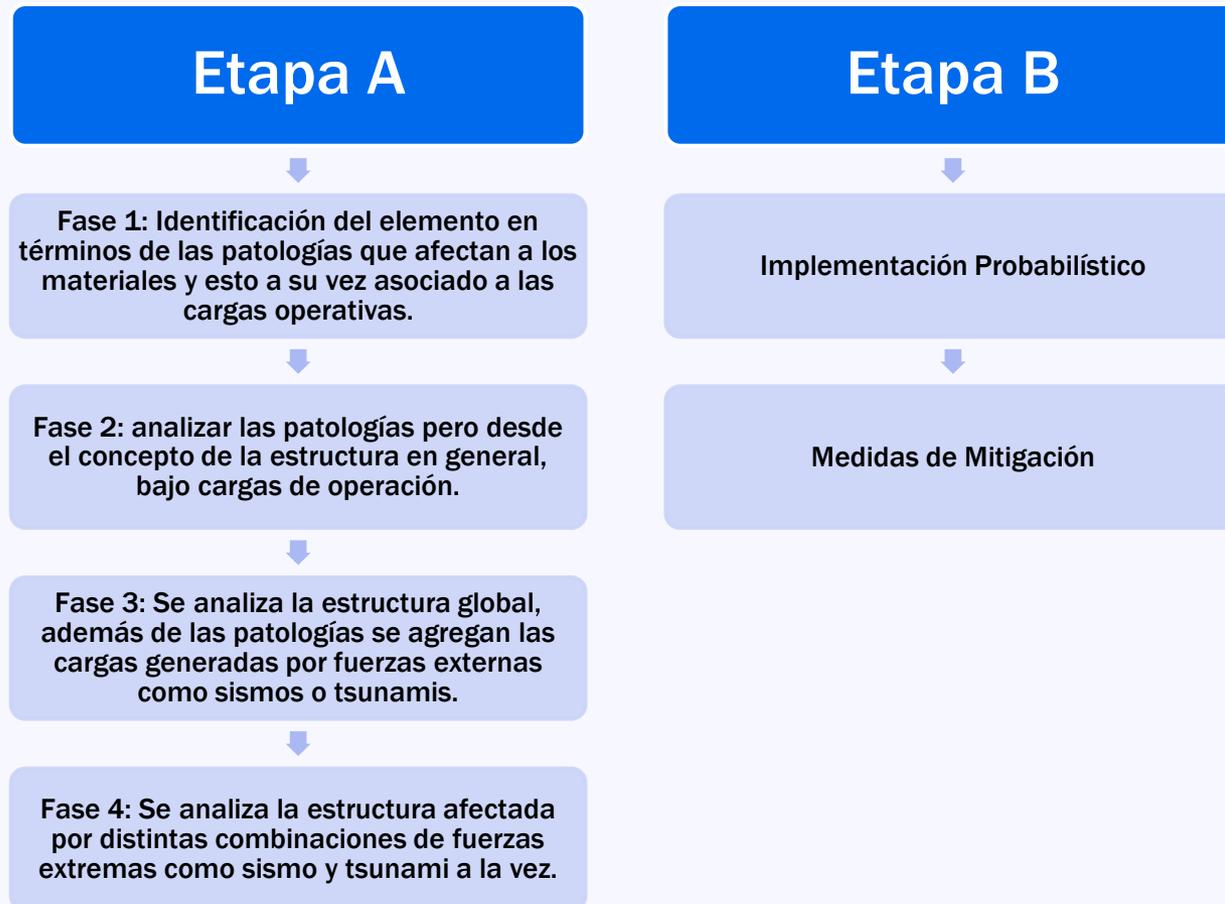
**Desarrollo metodológico
(probabilístico) para la predicción
y simulación de las amenazas.**

**Verificación de medidas de
mitigación y prevención en la FASE
III a través de la metodología-DFS.**

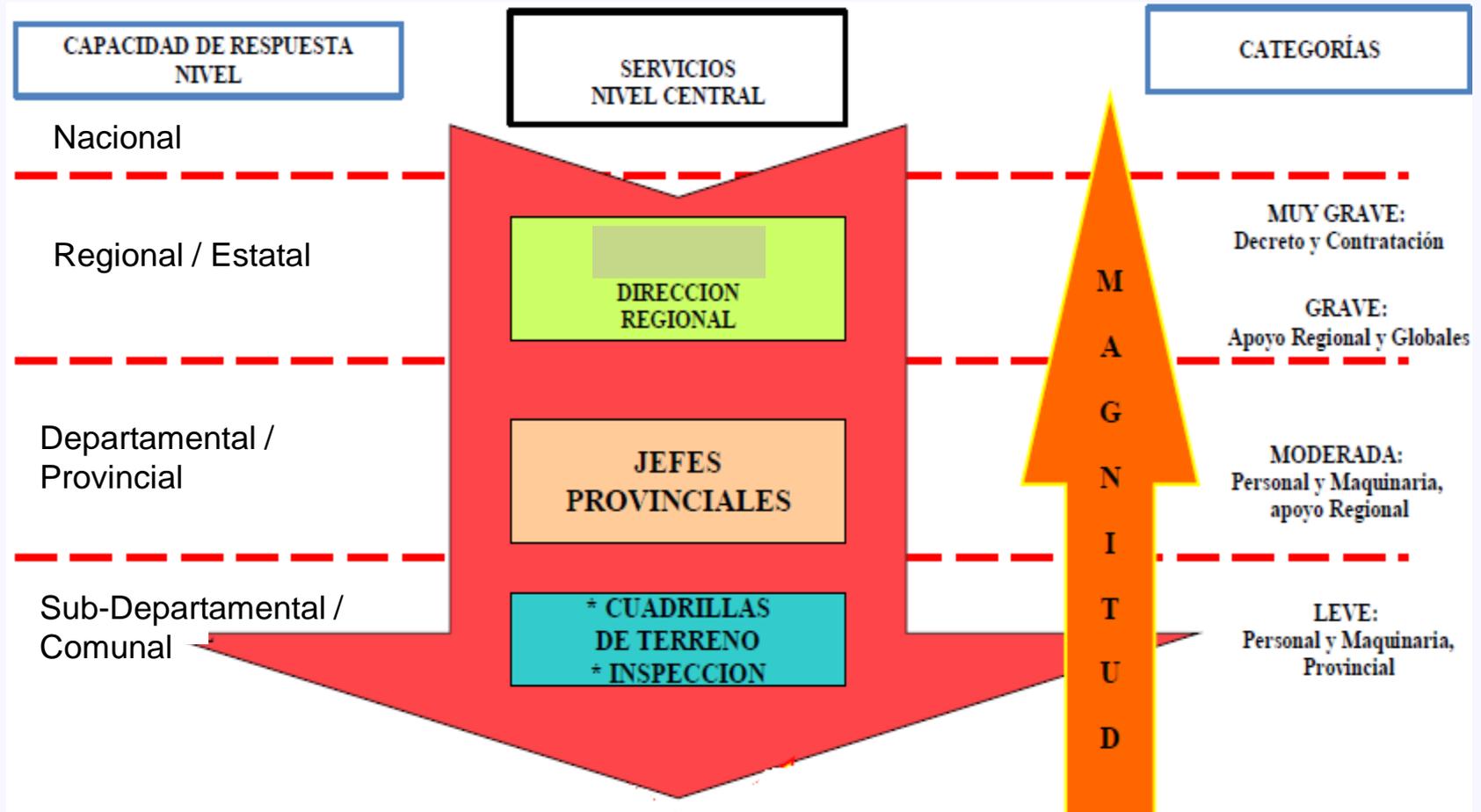


DESCRIPCIÓN MÉTODO DETERMINÍSTICO

- La aplicación de este método comprende 2 Etapas y 4 fases :



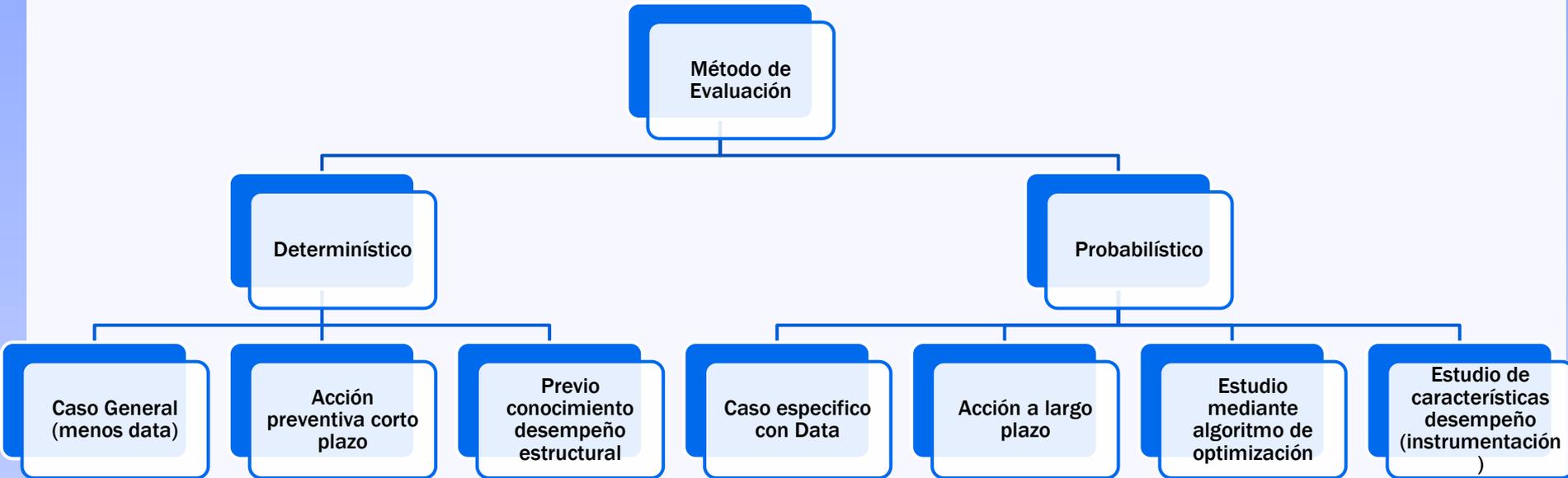
METODOLOGIA-DFS



EMERGENCIA



METODOLOGIA-DFS



The Probabilistic Risk Assessment (CAPRA) Program

RiskAssessment
Flood
Hurricane
Landslide

Seismic
Tsunami
Volcano
Vulnerability



Esquema Caso Probabilistico:

Evento de Estudio

Modelo de Riesgo (impacto de esos eventos en el lugar)

Modelo de vulnerabilidad (Probabilidad de daño en la infraestructura)

Daño (Se define a partir de curvas de fragilidad para identificar el daño de la estructura)

Modelo de Presupuesto (Definición de probable pérdidas).

Acciones requeridas para elaborar modelo chileno:

Definición de zonas o sectores con máximas pérdidas por evento

Elaborar modelos específicos para cada evento:

- Tsunami (PRDW)
- Sismología (Uchile)
- Microzonificación (Xterrae)
- Vulnerabilidad estructural (SPA & EQCO)
- Deslizamientos (DFS)



Evaluación Estructura Existente:

Resultado Final: Conocer si cumple los fines de diseño original (Estado Limite Ultimo –como se diseño- y Estado Limite Servicio) y en particular la verificación para la amenaza estimada en la evaluación previa.

Conceptos aplicables a estructura existente:

Conocer la historia del comportamiento

Definir el remanente de vida útil

Catastrar los deterioros y acciones excepcionales soportadas por la estructura.

Realización de inspecciones ensayos y medidas in situ frente a futuras amenazas

Desarrollo de curvas de fragilidad específicos para cada tipología de estructura.



Esquema Caso Probabilístico:

METODOLOGIA-DFS

Para la evaluación de las estructuras para la elaboración del presupuesto por la probabilidad de pérdida:

Diversificación geográfica de la estructura

Tipo de vulnerabilidad

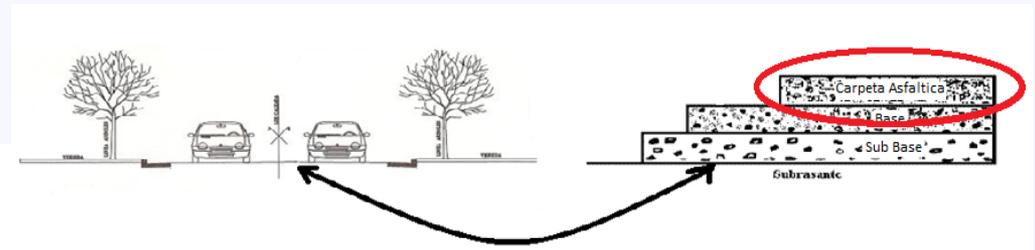
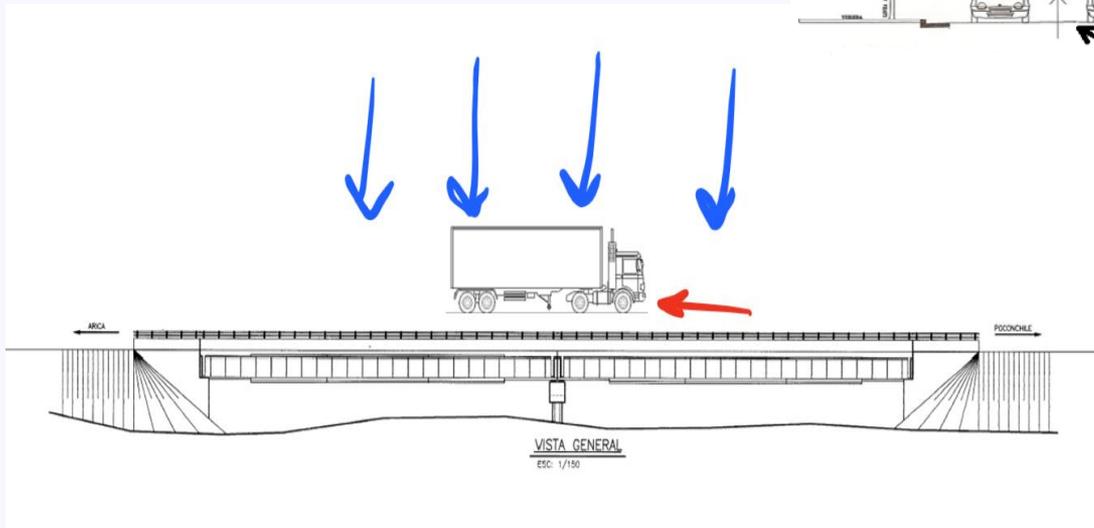
Potenciales pérdidas: Daño infraestructura, daño contenido y pérdida paralización

Utilización de curvas de fragilidad por tipo de estructura y evento.



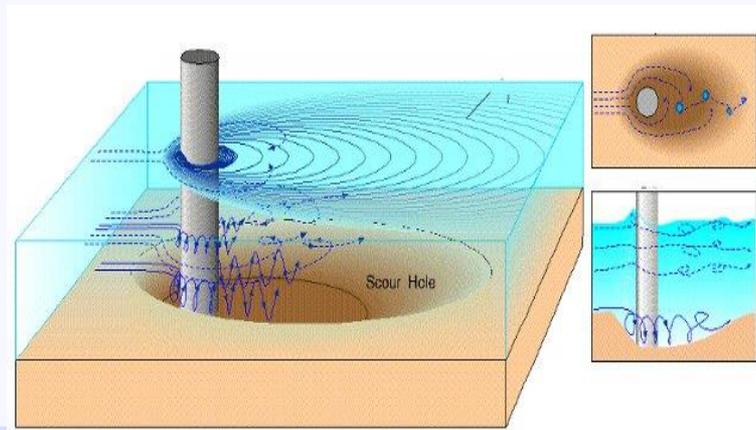
OBJETIVOS MÉTODO DETERMINÍSTICO

- Fase 1 - Identificación de las patologías dentro de un elemento de una estructura, bajo cargas operativas.
- Estas cargas generan un índice de daño a materiales que compone el puente o camino.



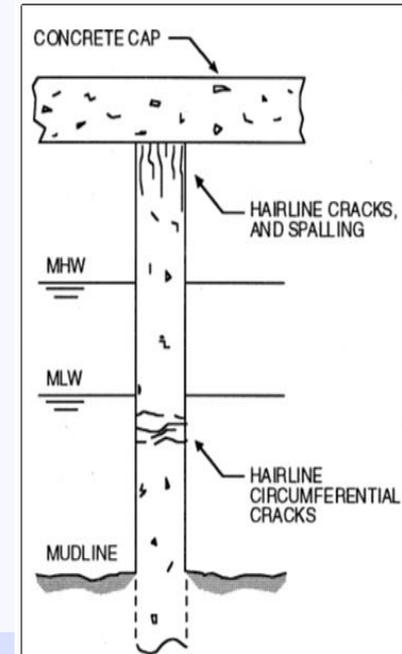
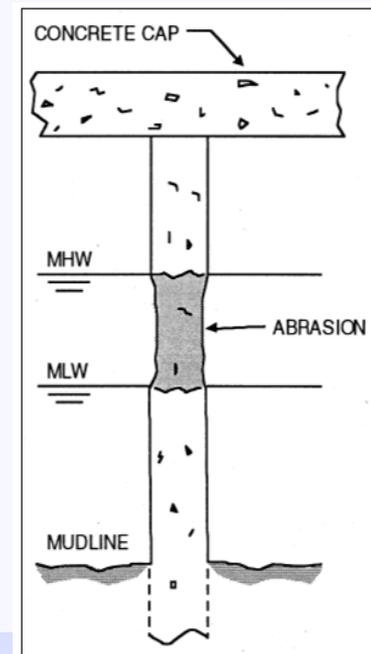
FASE 1 - PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE ACERO

- Corrosión
- Abrasión
- Aflojamiento de las conexiones estructurales
- Falla por fatiga
- Sobre carga
- Perdida de material de la fundación



FASE 1 - PATOLOGÍAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

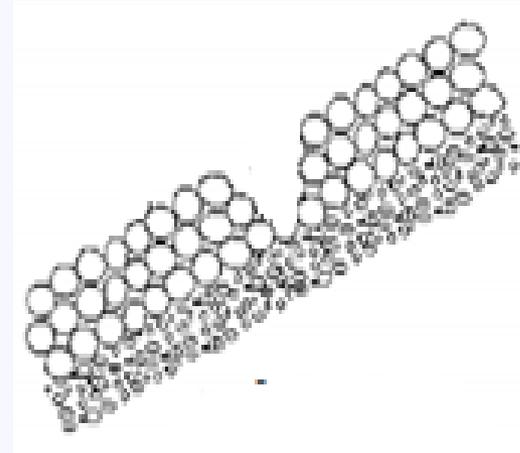
- Reacción de álcalis - sílice
- Deterioro por ciclos de hielo - deshielo
- Deterioro químico por el agua salada
- Barras de refuerzo corroídas
- Desgaste por abrasión
- Deterioro por sobrecarga
- Contracción



FASE 1 - PATOLOGÍAS DEL MATERIAL GRANULAR

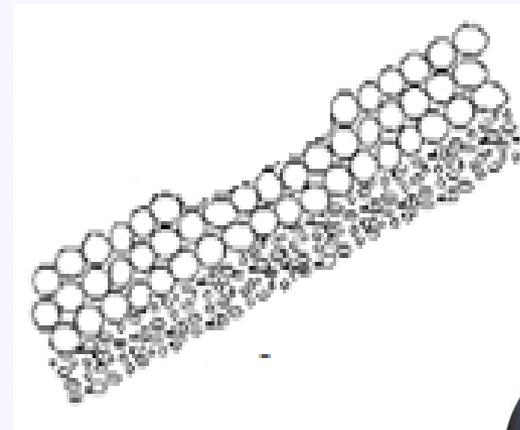
■ Desgaste por sobrecarga

Ocurre cuando la sollicitación es mayor al coeficiente de roce de los áridos, lo que provoca que el material se separe y disperse. Se caracteriza por una pérdida puntual y profunda de material.



■ Desgaste por abrasión

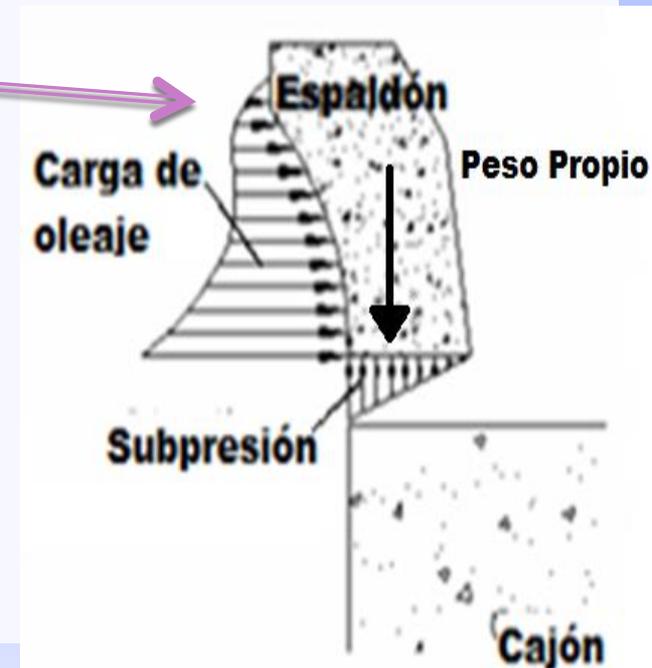
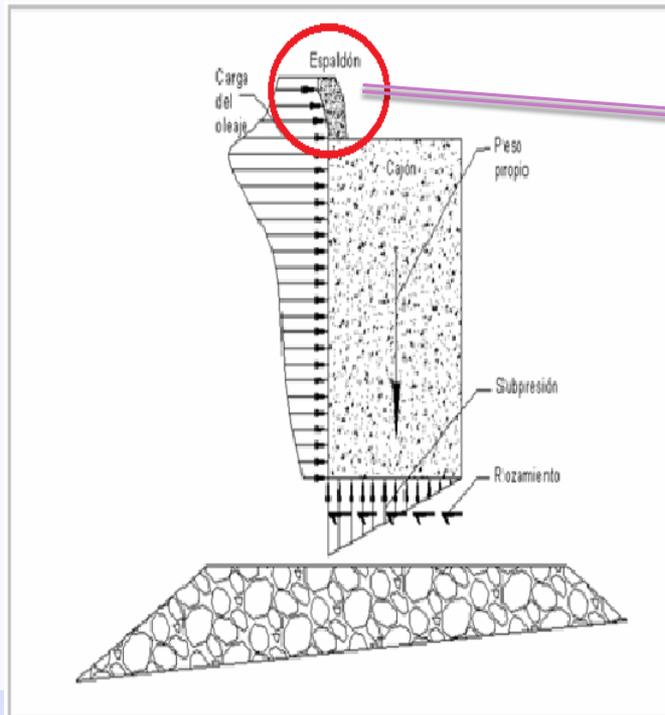
Ocurre por el desgaste de la acción mecánica de fricción, se debe principalmente a la socavación producida por el oleaje y la turbulencia generada por las hélices de las embarcaciones. Se caracteriza por una leve y prolongada pérdida de material



APLICACIÓN DEL MÉTODO DETERMINÍSTICO

FASE 1

- La primera fase de aplicación de este método implica el análisis de los distintos tipos de patologías que afectan a las estructuras, además Se deben definir los distintos niveles de daño causados por estas mismas, se analiza cada elemento de la estructura.
- Ejemplo: sollicitación estándar bajo condiciones normales de uso de un dique de abrigo vertical.



METODOLOGIA-DFS

Esquema Caso Deterministico

DOCUMENTACIÓN																			
Marque con una °x° según corresponda																			
Ítem	Verificación					Ítem	Verificación												
Estructura	1	2	3	4	N/A	Patología	1	2	3	4	N/A								
A						Y1													
B						Y2													
C						Y3													
D						Y4													
E						Y5													
Código																			
Estado:						1:leve /2:Moderado /3: Severo/4 critico/ N/A: No aplica													
Patología:						1:leve /2:Moderado /3: Severo/4 critico/ N/A: No aplica													
REVISIÓN ESTRUCTURA																			
<p>Condición Vulnerabilidad</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: green;"></td> <td style="background-color: yellow;"></td> <td style="background-color: red;"></td> <td style="background-color: red;"></td> </tr> </tbody> </table>												1	2	3	4				
1	2	3	4																
OBSERVACIONES																			
OBSERVACIONES																			
Inspeccionado por																			
Nombre			Rut			Cargo			Firma										



Evaluación Estructural



Ficha de Amenaza



FICHA FASE 1

		Fase I	
Elemento Estructural	Riesgo	Estado Inspección	
	Patología	Calificación	Nivel
Carpeta asfáltica	Fisuras y Grietas por fatigamiento	Menor	1
	Fisuras y grietas en bloque	Menor	1
	Grietas de borde	Menor	1
	Fisuras y Grietas Longitudinales	Menor	1
	Fisuras y Grietas Transversales	Menor	1
	Fisuras y Grietas Reflejadas	Menor	1
	Parches Deteriorados	Menor	1
	Baches en Carpetas Asfálticas	Menor	1
	Baches en Tratamientos Superficiales	Menor	1
	Ahuellamiento	Menor	1
	Deformación Transversal	Menor	1
	Exudaciones	Menor	1
	Desgaste	Menor	1
	Perdida de Áridos	Menor	1
	Ondulaciones	Menor	1
	Estatus General del Elemento		

Carpeta Asfáltica



Es la base mas economica y que se ocupa en las carreteras en Chile por su trabajabilidad y por la facilidad para crear la mezcla. Es la base superior de toda la carretera, donde tiene contacto directo los vehiculos cuando circulan.

[Volver](#)

Posibles Daños	Descripción	Causas	Medición
Fisuras y grietas en bloque	Agrietamiento que divide el pavimento en trozos rectangulares	Mezcla asfáltica muy rígida. Espesor del pavimento inadecuado para el nivel de solicitaciones.	Establecer cantidad de m ²

Fisuras y Grietas en Bloque	Medición de falla	
<p>PLANTA</p>	1	No se observa daño Se observan distintas fisuras menores sin interconectarse entre si
	2	Ancho de fisuras < 3 mm o grietas selladas en buenas condiciones y de ancho que no se puede determinar
	3	3 mm < ancho grietas < 20 mm, o grietas de ancho medio > 20 mm, rodeadas de un agrietamiento de severidad baja Ancho de grietas > 20 mm o grietas de un ancho medio > 20 mm, rodeadas de un agrietamiento de alta severidad



[Volver](#)

Niveles de evaluación con que se rellena la ficha de inspeccion

	Valor
Menor	1
Moderada	2
Mayor	3

Ubicación de la falla	Zona
No aplica 1	No existe daño
Ubicación 2	Se observa en el centro de la carretera
Ubicación 3	Se observa en los bordes de carretera

FICHA DE APLICACIÓN PARA EL MÉTODO

La tabla en color azul indica el nivel de daño que visualiza el inspector en el elemento que esta analizando.

El algoritmo entrega un resultado del nivel de riesgo de la estructura, el cual va de leve a severo dependiendo del estado en el cual se encuentre.

Estado Inspección	Valor
Menor	1
Moderada	2
Mayor	3

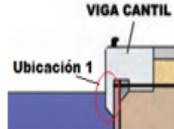
Riesgo	Valor
Leve	1
Moderado	2
Severo	3
Sin Acceso	S/A

Elemento Estructural	Riesgo	FASE 1		FASE 2		Descripción	
		Estado Inspección		Ubicación Patología	Riesgo		
		Calificación	Nivel		Calificación		Nivel
<u>Viga Cantil</u>	<u>Barras de refuerzo corroídas</u>	Menor	1	1	Moderado	2	
	<u>Desgaste por abrasión</u>	Menor	0	0	Leve	1	
	<u>Deterioro por sobrecarga</u>	Menor	0	0	Leve	1	
	<u>Deterioro ciclos hielo - deshielo</u>	Menor	0	0	Leve	1	
	<u>Contracción</u>	Menor	0	0	Leve	1	
	Promedio		0,2			1,2	

Elemento Estructural	Riesgo	FASE 1		FASE 2		Descripción	
		Estado Inspección		Ubicación Patología	Riesgo		
		Patología	Calificación		Nivel		Calificación
Viga Cantil	Barras de refuerzo corroídas	Menor	1	1	Moderado	2	
	Desgaste por abrasión	Menor	0	0	Leve	1	
	Deterioro por sobrecarga	Menor	0	0	Leve	1	
	Deterioro ciclos hielo - deshielo	Menor	0	0	Leve	1	
	Contracción	Menor	0	0	Leve	1	
	Promedio		0,2			1,2	

Nivel de destrucción en hormigón		
Nivel 1	fisura, es una pequeña rotura superficial en el hormigón, conlleva ningún tipo de riesgo estructural.	
Nivel 2	fisura grave, la rotura llega hasta las barras de refuerzo.	
Nivel 3	Grieta, es cuando la fisura atraviesa de lado a lado la pieza de hormigón, dependiendo del tamaño pueden ser muy peligrosas ya que son producidas por el agotamiento de la capacidad de carga del material.	

Nivel de destrucción en acero		
Nivel 1	superficie levemente dañada, el acero mantiene toda su capacidad de resistencia.	
Nivel 2	chapa de laminación perdida, fácilmente eliminable por medio de raspado, no tiene cavidades visibles. Debilitamiento de su resistencia estructural en la zona de falla.	
Nivel 3	gran cantidad de concavidades, acero pierde sus propiedades de resistencia estructural.	

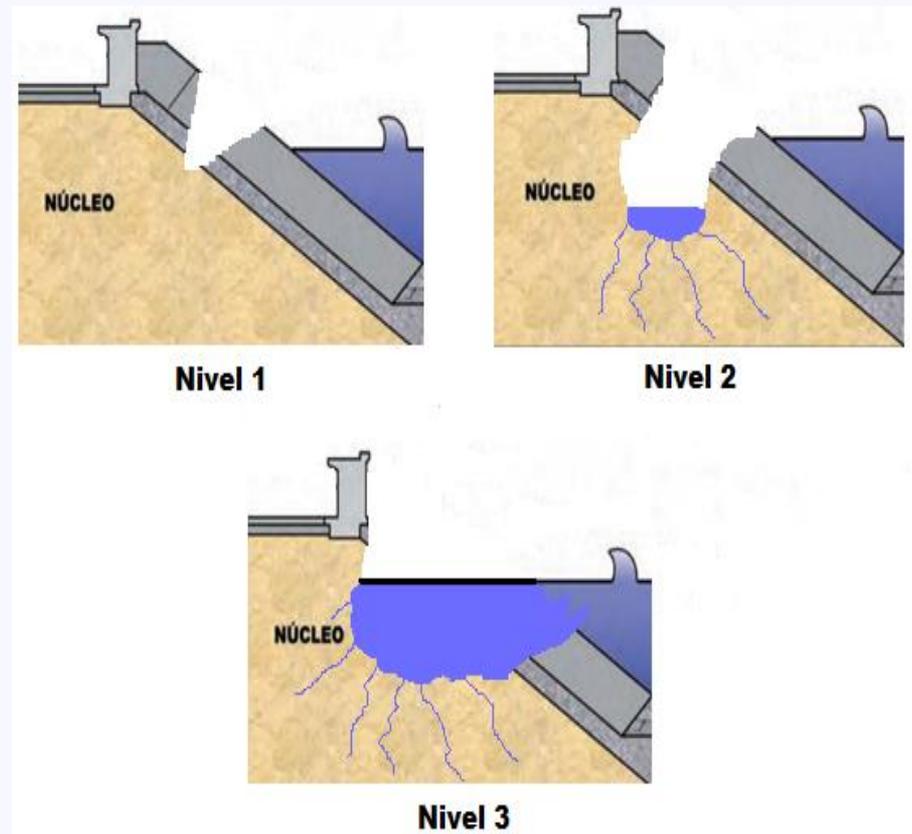
Ubicación de la falla		
Ubicación 1	parte frontal del muelle, esta parte de la viga protege la zona de la pantalla que esta sujeta por el tirante, por lo que en caso de falla el tirante quedaría totalmente expuesto causando el colapso general de la estructura.	
Ubicación 2	zona superior de la viga, una falla en esta zona no representa un peligro para la estructura en general.	

■ EJEMPLO: NIVELES DE DAÑO EN EL MANTO DE UN DIQUE DE ABRIGO

Nivel de daño 1: pérdida parcial del núcleo

Nivel de daño 2: ingreso de agua y lavado de material granular

Nivel de daño 3: pérdida general del núcleo, destrucción total.



OBJETIVOS MÉTODO DETERMINÍSTICO

- Fase 2 – Ubicación de la patología dentro de la estructura, para cargas operativas.
- En la fase dos se genera un índice de daño de la estructura



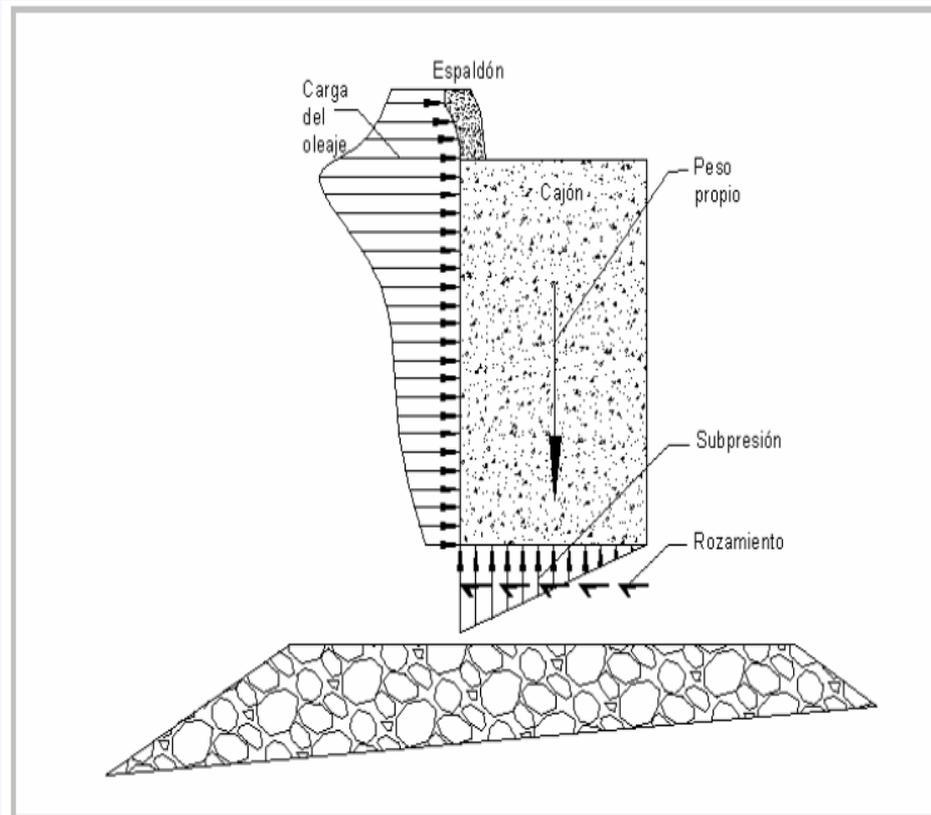
Ubicación de la falla	Zona
No aplica 1	No existe daño
Ubicación 2	Se observa en el centro de la carretera
Ubicación 3	Se observa en los bordes de carretera



APLICACIÓN DEL MÉTODO DETERMINÍSTICO

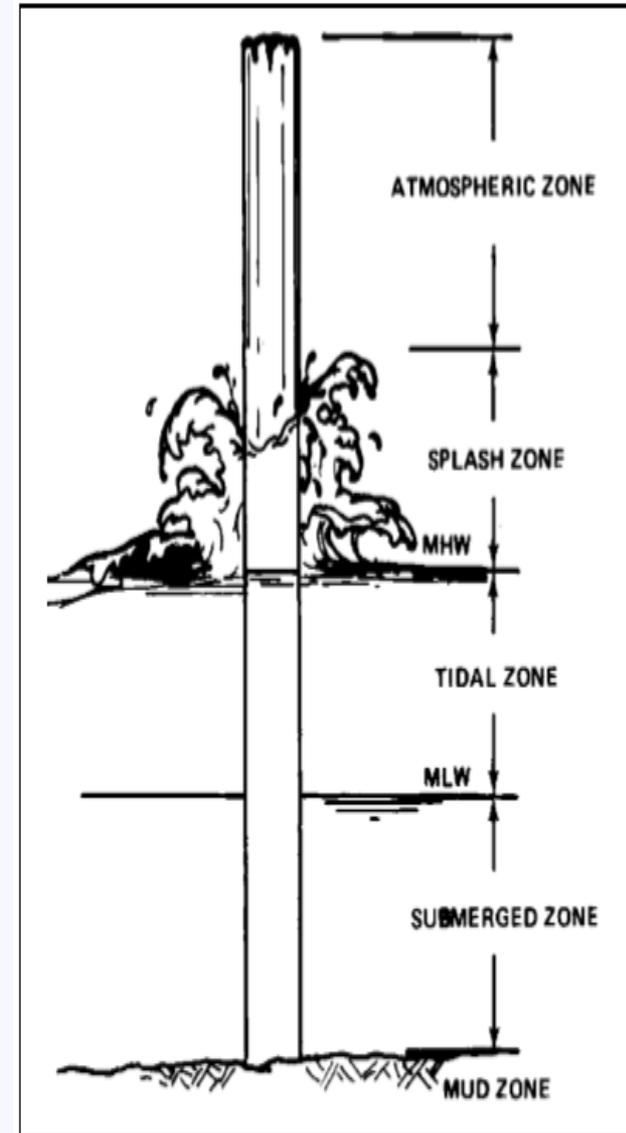
FASE 2

- La fase 2, consiste en analizar la estructura desde un punto de vista global, considerando la ubicación de las patologías dentro de la estructura sometida a cargas operativas.



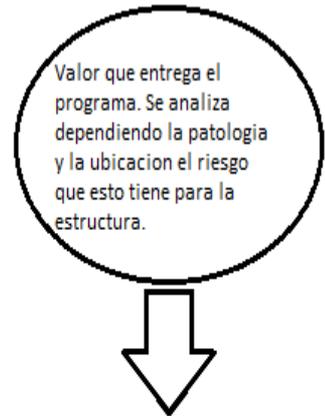
FASE 2 - ZONAS DE EXPOSICIÓN

- **Zona Atmosférica (Atmospheric Zone):**
Los cloruros avanzan muy lentamente hasta las barras de refuerzo, pero dado que hay humedad y oxígeno se produce la corrosión.
- **Zona de salpicadura de agua (Splash Zone):**
El hormigón se seca y humedece paulatinamente por lo que los cloruros avanzan rápidamente hasta llegar a las barras de refuerzo, dado que esta zona tiene presencia de oxígeno y constante humedad, es el lugar que representa más riesgo en cuanto a corrosión.
- **Zona de mareas (Tidal Zone):**
El hormigón no alcanza a secarse por lo tanto se encuentra permanentemente saturado, los cloruros penetran el hormigón, pero dado que no hay oxígeno la corrosión no es expansiva por lo que no genera riesgos.
- **Zona sumergida (Submerged Zone):**
Los cloruros pueden avanzar mucho hacia el interior del hormigón por medio del mecanismo de permeabilidad, dado que no hay oxígeno se producen corrosiones poco expansivas, sin consecuencias.

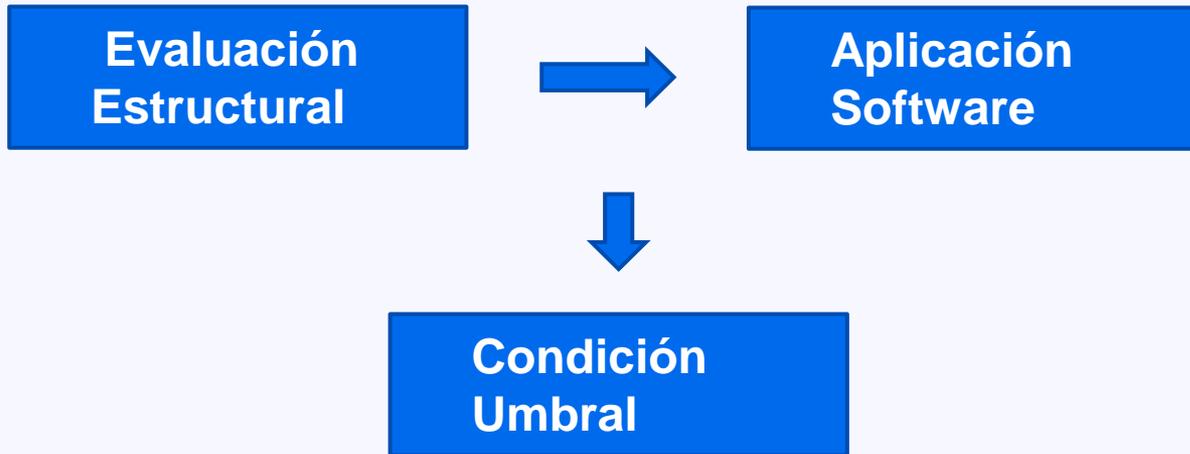


FASE 2

Elemento Estructural	Riesgo	Ubicación patologica	Fase II		Descripción	
	Patología		Calificación	Nivel		
<u>Carpeta asfáltica</u>	<u>Fisuras y Grietas por fatigamiento</u>	1	Menor	1		
	<u>Fisuras y grietas en bloque</u>	1	Menor	1		
	Grietas de borde	1	Menor	1		
	Fisuras y Grietas Longitudinales	1	Menor	1		
	Fisuras y Grietas Transversales	1	Menor	1		
	Fisuras y Grietas Reflejadas	1	Menor	1		
	Parches Deteriorados	1	Menor	1		
	Baches en Carpetas Asfálticas	1	Menor	1		
	Baches en Tratamientos Superficiales	1	Menor	1		
	Ahuellamiento	1	Menor	1		
	Deformación Transversal	1	Menor	1		
	Exudaciones	1	Menor	1		
	Desgaste	1	Menor	1		
	Perdida de Áridos	1	Menor	1		
	Ondulaciones	1	Menor	1		
	Estatus General del Elemento					1



Riesgo	Valor
Menor	1
Moderado	2
Mayor	3
Sin Acceso	S/A



FICHA VULNERABILIDAD

FICHA AMENAZA - ESTRUCTURAL

Elemento / Parámetro	x1	x2	x3
a			
b			
c			
d			

ACCIONES

d		Aceptable
c		Medidas de reparación
a y b		Medidas de refuerzo / Estructura Auxiliar
		Reubicación

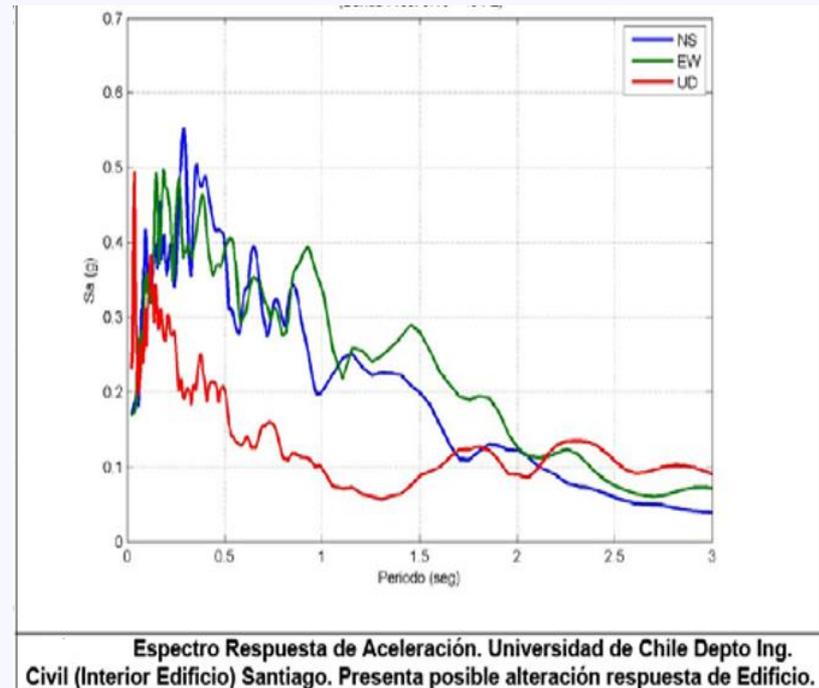
Inspección preventiva:
a, b, y c



APLICACIÓN DEL MÉTODO DETERMINÍSTICO

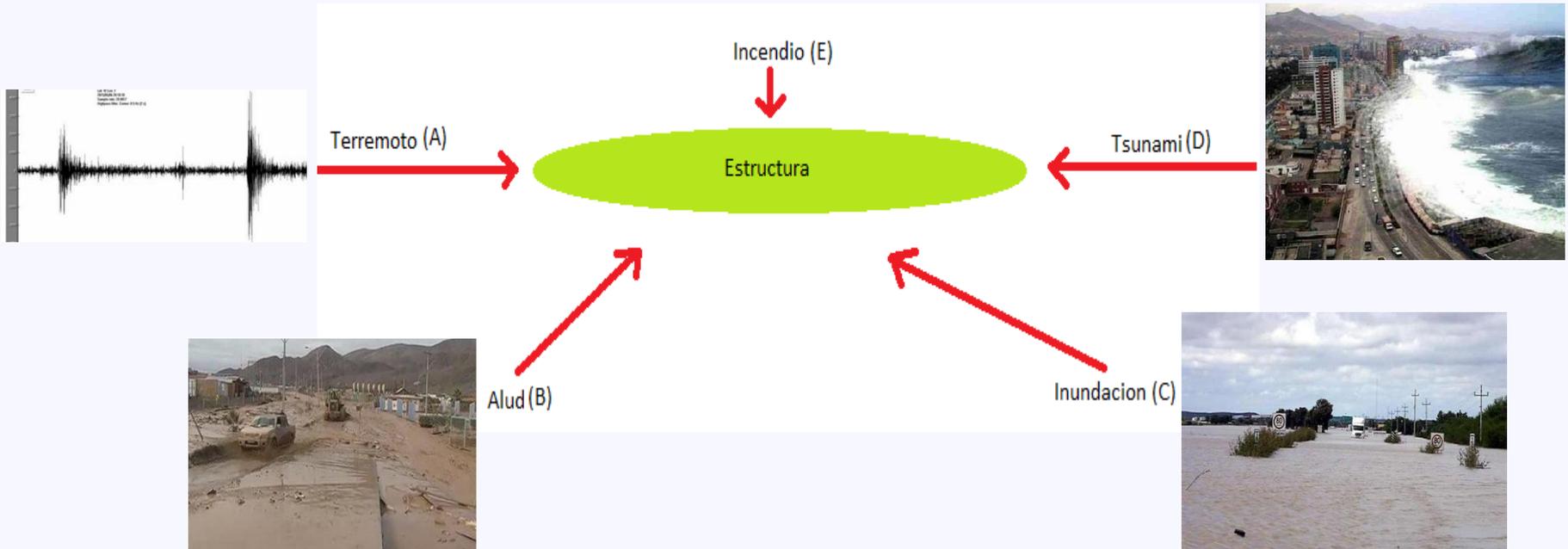
FASE 3

- La fase 3 consiste en complementar a la fase 2 el estudio los riesgos provocados por amenazas externas como sismos o tsunamis, se analiza cada amenaza por separado. En el caso de las obras portuarias los sismos y tsunamis toman gran relevancia (principales causas de colapso).



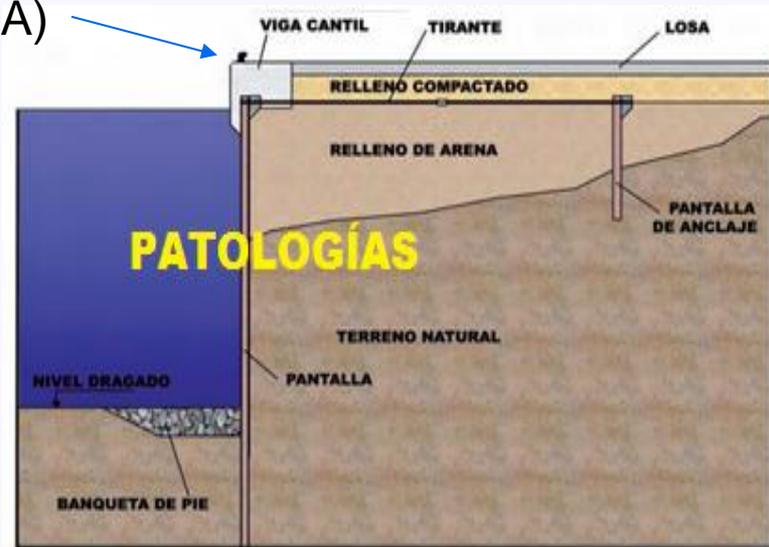
OBJETIVOS MÉTODO DETERMINÍSTICO

- Fase 3 - Análisis de la estructura bajo cargas excepcionales.
- Cada carga excepcional son amenazas, cuando actúa cada una de ellas por separadas se crea un índice de vulnerabilidad



FASE 3

Terremoto (A)



Marejadas (C)

Tsunami (B)

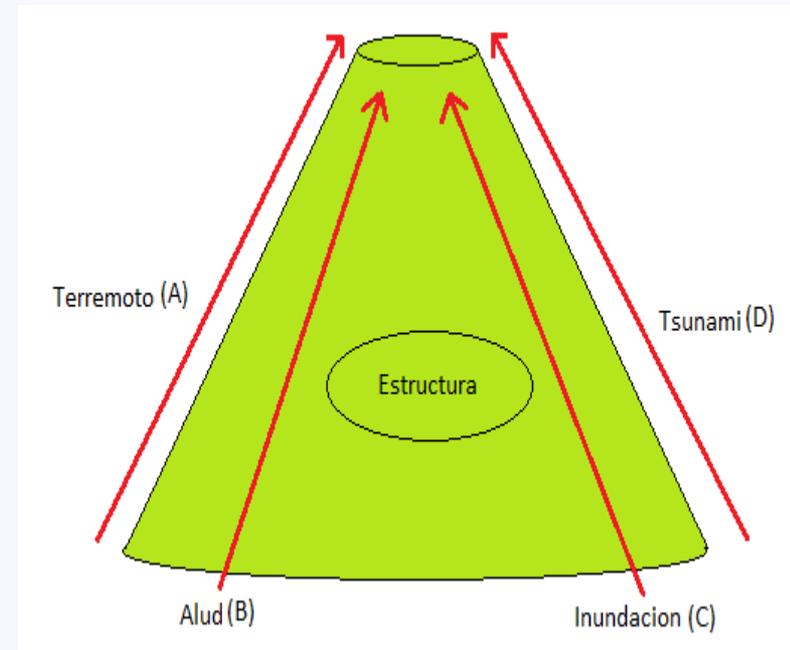
Choque de Embarcación (D)

OBJETIVOS MÉTODO DETERMINÍSTICO

- Fase 4 – Se identifican diversas combinaciones de amenazas que actúan en conjunto. El método determinístico en conjunto con el método probabilístico entregarán un índice de vulnerabilidad de la estructura.

- Ejemplo:

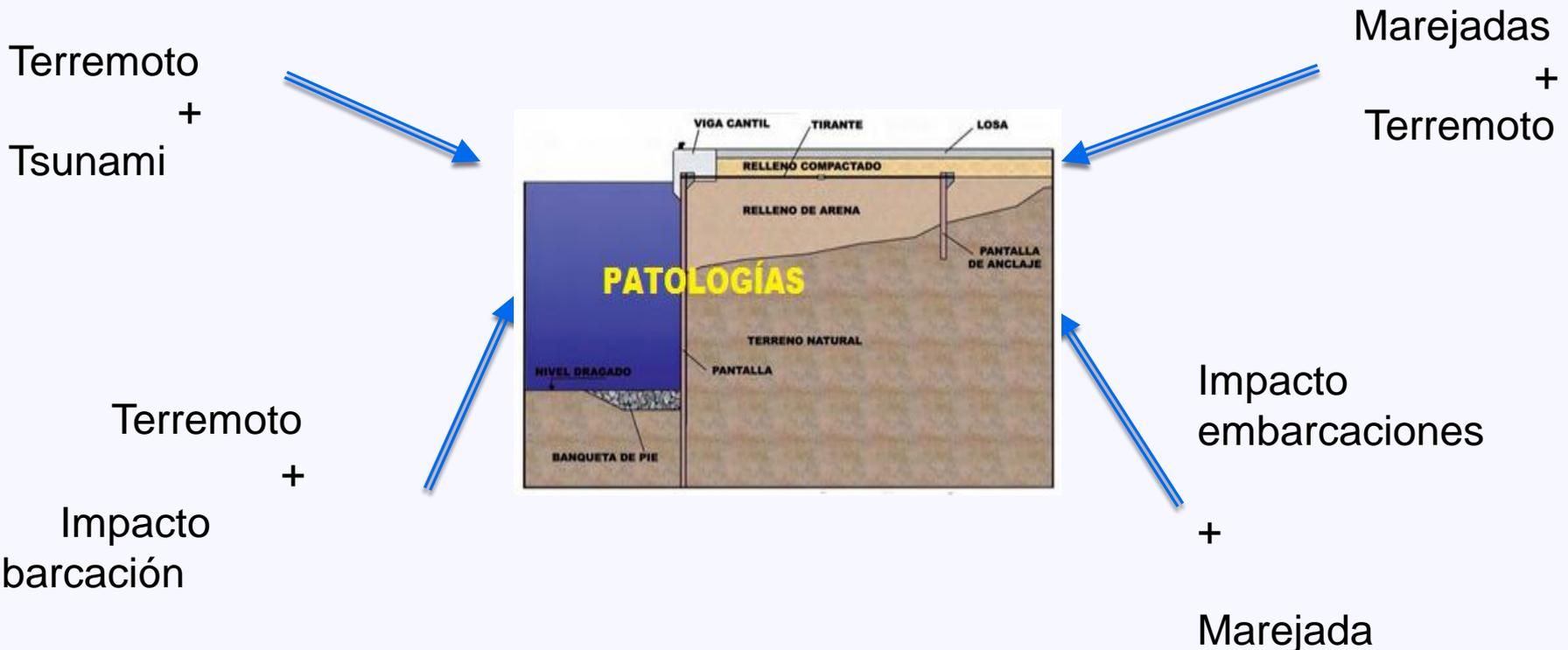
- (A)+(C)
- (B)+(C)
- (A)+(D)

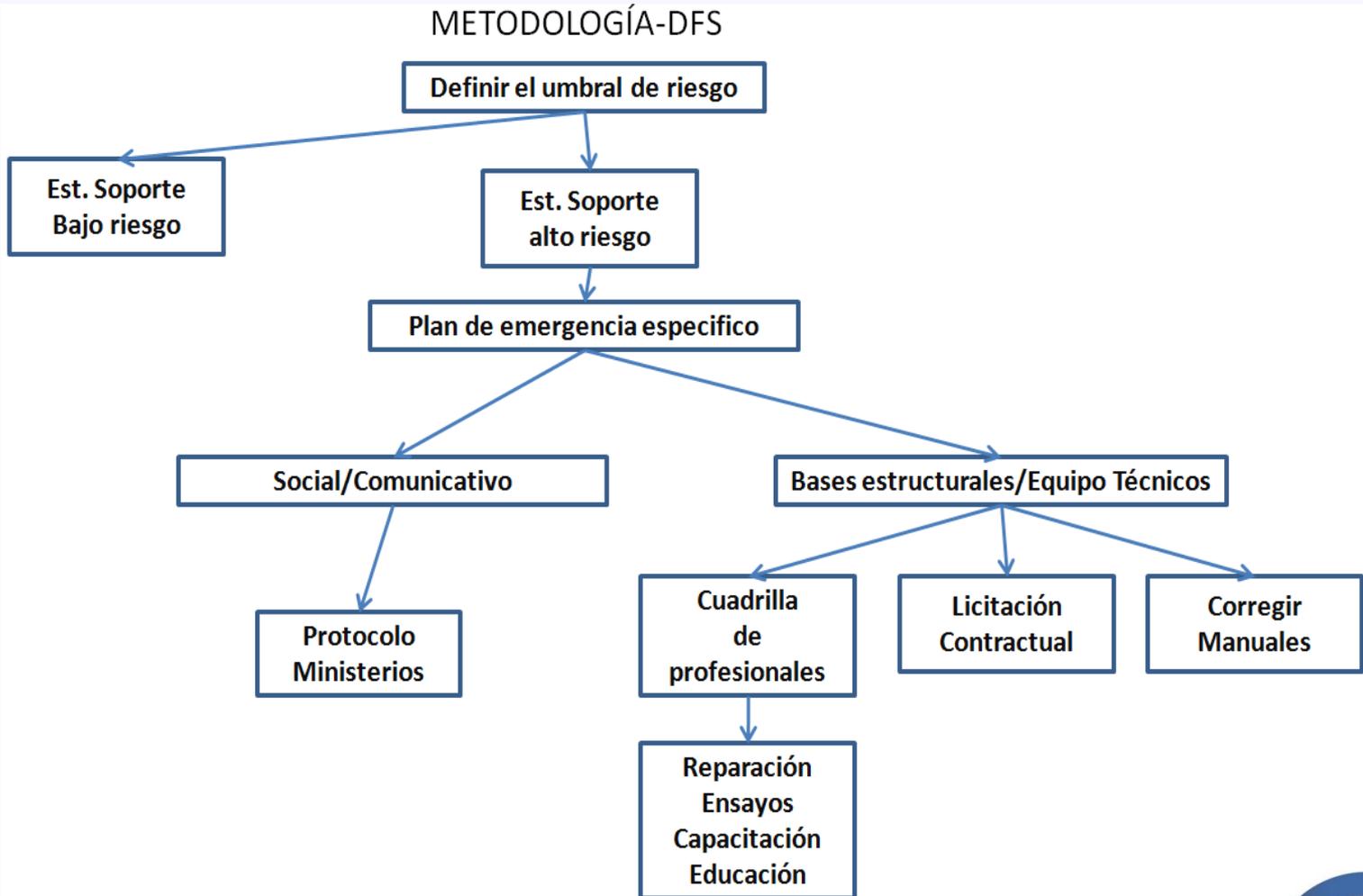


APLICACIÓN DEL MÉTODO DETERMINÍSTICO

FASE 4

- La Fase 4 implica una interrelación de las solicitaciones externas provocadas por las amenazas de sismos, tsunamis, marejadas o choque de embarcaciones. En esta etapa final del método determinístico se hace un análisis de riesgos de la estructura completa





Método Determinístico: Líneas Futuras de Desarrollo



Líneas Futuras de Desarrollo

- Estudiar escenarios de amenazas no prevista hasta la fecha en la FASE I.
- Poder desarrollar a mayor profundidad la fase II de la metodología propuestas por COSIPLAN/IIRSA llegando a un nivel 3 de análisis de riesgo.
- Con la metodología DFS se puede desarrollar la fase III **con criterios** cuantitativos y **poder tomar decisiones** en cuanto a el **diseño de las infraestructuras**, su **ubicación** o bien la **no ejecución** del proyecto de pre factibilidad por causas de un alto riesgo, es decir, imposibilidad tecnológica para su construcción y/o mitigación de él.
- Desarrollar la FASE III en el ámbito de reducción del riesgo y preparativos para la respuesta de la amenaza.

Bafokeng-1974
(Sudáfrica)



Fichas elemento, estructura y amenazas

- Lo primero que el software hace es analizar la ficha por elemento la que arroja un valor de vulnerabilidad, posteriormente estas serán analizadas en la ficha de estructura la que finalmente te da un valor de vulnerabilidad como ficha técnica.

Elemento 1	Patología a
Elemento 2	Patología b
Elemento 3	Patología a
Elemento n	Patología b

ochikoshi-1978
(Japón)



Ficha de Elemento
Foto
Esquema
Descripción



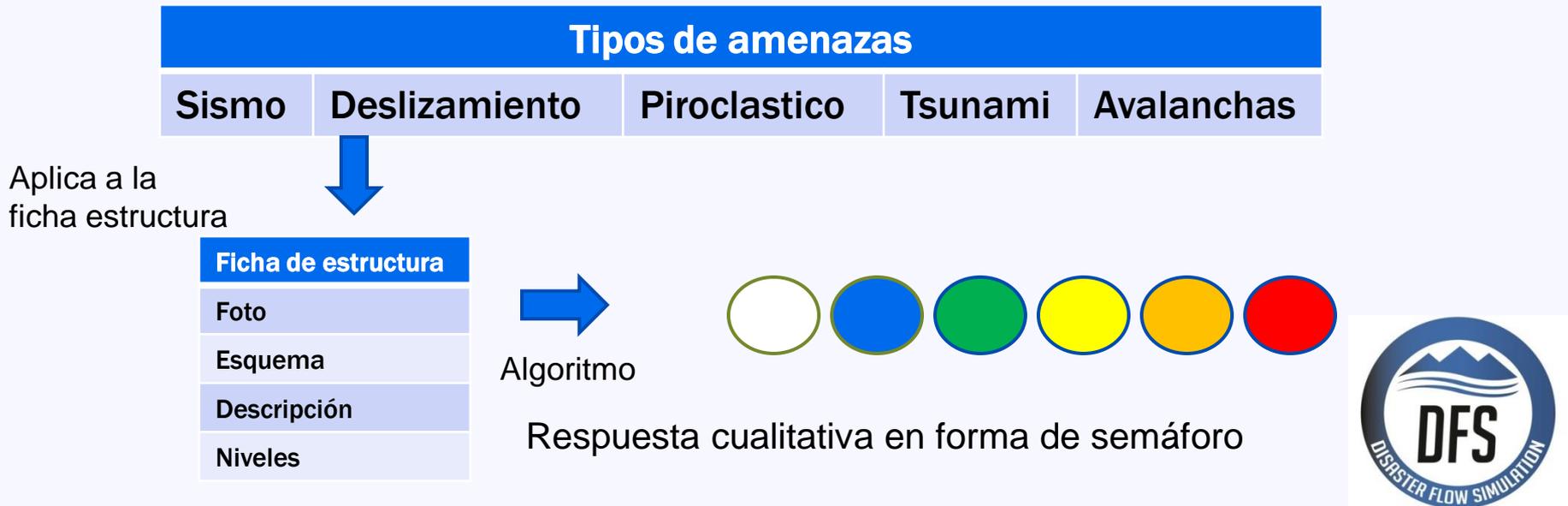
Ficha de estructura
Foto
Esquema
Descripción
Niveles



Fichas elemento, estructura y amenazas

•Luego de esto es necesario conocer su entorno y posibles amenazas que afecten a ella, lo que se genera las fichas de amenazas que mediante programación de algoritmo genérico y una retroalimentación de este programa, es posible dar recomendaciones de las acciones previa al suceso para disminuir el riesgo de la infraestructura.

•Estas amenazas pueden afectar en conjunto o por si solo a la infraestructura



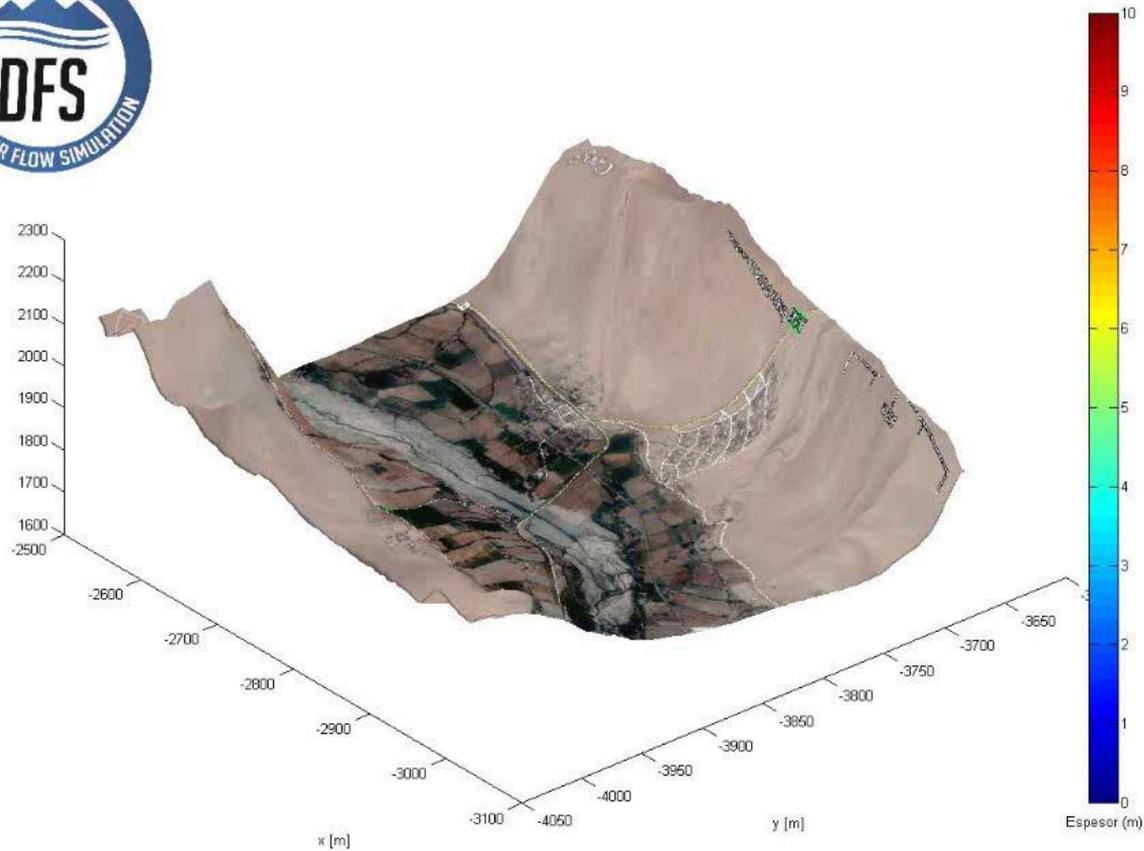
Líneas Futuras de Desarrollo



Herramienta DFS propone conocer a través de simulación el área de inundación y posteriormente poder tomar decisiones para construir medidas de mitigación como muros de contención, de desviación, depresores de energía, entre otras.



Líneas Futuras de Desarrollo



Ver video de simulación, en el siguiente link:
<https://www.youtube.com/embed/edyfxAT3-KY>

