

**UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Departamento de Ingeniería Informática**



**Simulación de escenarios y análisis de evaluación de riesgo socio  
económico por Floraciones Algales Nocivas en la Región de Los Lagos,  
Chile**

**Pedro Pablo Silva Antilef**

Profesor Guía: Mauricio Marín

Profesor co-guía:

Santiago – Chile

2021

## RESUMEN

Las floraciones algales nocivas (FAN) son un fenómeno que va en aumento, y lo mismo sucede con sus efectos sobre la salud de las personas y también sobre los sistemas socioeconómicos que se encuentra explícitamente en el territorio, lo que evidencia la necesidad de contar con herramientas para mejorar la respuesta a los desastres socio-naturales en el borde costero provocados por las FAN. En este contexto se propone el desarrollo de una herramienta de simulación de escenarios de riesgo socioeconómico generado a partir de fuentes de datos externas para la automatización de la evaluación de riesgo en el borde costero de la Región de Los Lagos por FAN.

**Palabras Claves:** Palabras: floraciones algales nocivas, evaluación de riesgo

# TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
1.1	Planteamiento del problema . . . . .	2
1.2	Hipótesis de trabajo . . . . .	2
1.3	Objetivos del proyecto . . . . .	3
1.3.1	Objetivo general . . . . .	3
1.3.2	Objetivos específicos . . . . .	3
1.4	Descripción de la solución . . . . .	3
1.5	Herramientas . . . . .	5
1.5.1	Hardware . . . . .	5
1.5.2	Software . . . . .	6
1.6	Implicaciones del estudio . . . . .	6
1.6.1	Alcances y limitaciones . . . . .	6
1.7	Plan de trabajo . . . . .	6
1.7.1	Definición de actividades . . . . .	6
1.7.2	Carta Gantt . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>10</b>
2.1	Teoría de evaluación de riesgo espacial . . . . .	10
2.2	Teoría de evaluación de riesgo costero . . . . .	12
2.3	Riesgo por floraciones algales nocivas . . . . .	14
2.4	Herramientas de gestión existentes . . . . .	14
2.5	Herramientas y técnicas disponibles . . . . .	15
	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>16</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Tabla de datos a utilizar. . . . .	4
Tabla 2.1	Tabla de componentes y criterios (Luu 2018) . . . . .	12
Tabla 2.2	Tabla de componentes, indicadores y variables de riesgo en Hadipour (2020) .	13

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.1	Contexto de la solución propuesta. . . . .	5
Figura 1.2	Metodología de la solución propuesta. . . . .	8
Figura 1.3	Carta gantt generalizada tentativa . . . . .	9
Figura 2.1	Diagrama de riesgo. . . . .	10
Figura 2.2	Diagrama de riesgo con exposición. . . . .	11

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las floraciones algales nocivas (FAN), también conocidas como “marea roja”, fueron identificadas por primera vez en la década de los setenta en el extremo sur de Chile, específicamente en la Región de Magallanes en el año 1972 (Guzmán, 1973). En la Región de Aysén se registraron las primeras floraciones en el año 1992, donde recién en el año 1995 se aprecian eventos importantes alcanzando incluso la Región de Los Lagos en el año 2002 (Molinet, 2003). Las floraciones algales nocivas se volvieron un problema recurrente en las aguas del sur de Chile (Díaz, 2013).

Las toxinas que afectan a la salud pública son el Veneno Paralizante Mariscos (VPM), Veneno Diarreico de Mariscos (VDM) y el Veneno Amnésico de Mariscos (VAM), con un aumento en su ocurrencia a nivel mundial, siendo algas asociadas a la proliferación de cada una de las toxinas nombradas anteriormente: *Alexandrium catenella*, *Dinophysis acuta* y *Pseudo-nitzschia australis* respectivamente (Hallegraeff, 1993).

La proliferación de estas FAN, al ser consideradas un riesgo para la salud pública por sus efectos adversos en la salud humana, derivan en la designación de áreas de cierre donde se prohíbe la extracción del recurso acuícola que se ve afectado. El cierre de estas áreas de extracción, genera importantes pérdidas económicas para la industria acuícola, tanto a grandes empresas como a pequeños productores y pescadores artesanales y otros actores relacionados a la industria, lo que generó un levantamiento social con especial fuerza en la isla de Chiloé para el evento extremo del año 2016 en el sur de Chile (Global Aquaculture Alliance, 2017).

Las pérdidas económicas por floraciones algales nocivas pueden llegar a ser significativas en eventos extremos como los ocurridos en el año 2002 y 2016. Por ejemplo, en el año 2002 ocurrió un evento extremo que afectó a las granjas de moluscos, generando una pérdida de aproximadamente US\$100M por mes y para el caso del evento que afectó a salmones en el año 2016, las pérdidas rodearon los US\$800M (Díaz, 2017).

Gallardo-Rodriguez (2019) propone dividir los métodos para controlar eventos FAN en métodos físicos y remotos. Según el autor, países como Estados Unidos y Canadá se han enfocado en métodos remotos como la predicción de niveles toxicológicos a través de métodos de muestreo con conexión a internet y la utilización y procesamiento de imágenes satelitales. Por otro lado países como Corea, China y Chile, se enfocan en métodos físicos, como muestreos tradicionales con microscopio y transporte de aire para prevenir que las especies reciban de manera directa las algas nocivas. El problema de este último tipo de medida de control, es que no puede manejar eventos extremos como ocurrido en el año 2016 en el sur de Chile (Clement, 2016).

En este contexto, las soluciones de monitoreo remoto necesitan la utilización de

Sistemas de Información Geográfica (SIG) que permitan abordar este problema considerando las referencias territoriales que influyen en la prevención y manejo de los eventos de FAN, sobre todo si se quiere analizar el impacto social de las floraciones en el territorio.

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Como se menciona en la Introducción, el aumento en la frecuencia en la ocurrencia de episodios de FAN en los últimos años al rededor del mundo, ha generado un gran impacto socio económico. Una muestra de esto, es lo ocurrido en el año 2016 en las cosas y mar interior de la Región de Los Lagos, donde un evento extremo de FAN generó el cierre de extensas áreas de producción acuícola, debido a la poca precisión de ocurrencia exacta de las floraciones, principalmente por la carencia de datos ambientales y toxicológicos, y la poca capacidad de procesamiento de datos. Según información entregada por SERNAPESCA, estos cierres indiscriminados afectaron económicamente a sectores geográficos de la industria que no requerían de un cierre de producción de sus áreas. Lo anterior, sumado a la falta de medidas de mitigación económica, terminó desatando un “estallido social” en la región, con mayor fuerza en la Provincia de Chiloé, agudizando aún más los impactos económicos y sociales provocados por las FAN en sí.

Según las reuniones SERNAPESCA, y como se ha visto en la sección anterior, el problema ocurrido en el año 2016 fue una mezcla de un evento FAN extremo, sumado a una mala gestión. Según lo visto en la sección de 2.1, actualmente se están realizando esfuerzos para mejorar la gestión de estos eventos desde varios puntos de vista, pero enfocado principalmente en el riesgo sobre la salud de las personas, aun así, no existe una herramienta de evaluación de riesgo por FAN, incluso, no existe una metodología de evaluación de riesgo asociado a las floraciones algales nocivas. Estos últimos puntos demuestran la brecha que se busca llenar con este proyecto.

## **1.2 HIPÓTESIS DE TRABAJO**

La predicción del impacto del riesgo socio económico provocado por amenazas de floraciones repentinas de algas nocivas, puede ser evaluado con una precisión del 90% respecto de estudios anteriores post-desastre, mediante la simulación de escenarios que consideran datos sobre la vulnerabilidad socio económica y nivel de exposición de las comunidades afectadas.

## **1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.3.1 Objetivo general**

Desarrollar simuladores de escenarios posibles, en función de la evolución de amenaza para la predicción del impacto socio económico de floraciones repentinas de algas nocivas en la Región de Los Lagos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Recopilar información necesaria para la generación de datos de vulnerabilidad costera por floraciones algales nocivas.
2. Desarrollar, implementar y evaluar modelo de simulación de zonas de cierre a partir de datos externos.
3. Desarrollar, implementar y evaluar modelo de evaluación de zonas de riesgo.
4. Desarrollar conectores de software para la automatización de generación y despliegue de mapas de escenarios posibles en plataforma SIG.

## **1.4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN**

La solución se encontrará inmersa en una plataforma SIG desarrollada por el Centro de Innovación en Tecnologías de la Información para Aplicaciones Sociales (CITIAPS-USACH), en el contexto del proyecto Fondo de Innovación para la Competitividad Región de Los Lagos (FIC-R) denominado “Plataforma geo-informática inteligente para la gestión del riesgo de desastres socio-naturales en contextos de amenazas de borde costero para la Región de Los Lagos”, donde la solución propuesta jugará el rol de evaluar el riesgo costero a través de una herramienta desarrollada a nivel de base de datos PostgreSQL (como se muestra en la Figura 1.2, donde la solución se resalta en color rojo). Para esto se considera el desarrollo de un módulo de simulación de escenarios a partir de información de fuentes externas y otro modulo de evaluación de riesgo por FAN. Para el desarrollo de la herramienta se utilizará la librería PostGIS, para el



manejo de información territorial explícita y la librería pgRouting para las funciones de ruteo y nodos geográficos.

Para la simulación de escenarios de amenaza se utilizarán como entrada datos recolectados de fuentes externas: Predicciones de FAN facilitadas por CITIAPS, estaciones de monitoreo e informantes calificados en terreno (éstas últimas dos fuentes corresponden a información en tiempo real), las cuales se detallan en la Tabla 1.1. Estos datos de fuentes externas servirán como entrada para el módulo de simulación de áreas de cierre de producción acuícola, las cuales afectan a caletas de pescadores, concesiones acuícolas, áreas del Programa de Sanidad de Moluscos Bivalvos (áreas PSMB), Espacios Costeros Marinos Pueblos Originarios (ECMPO) y cualquier producción de algún tipo de producto afectado por las FAN. La generación de las zonas de cierre de producción simuladas, afectarán tanto a los encargados y trabajadores, como a los servicios que interactúan directamente con este sector productivo como terminales de pesca, supermercados, pescaderías, gastronomía relacionada al mar, entre otros. La identificación de los afectados arrojará como resultado una capa de puntos, a partir de la cual, el módulo generará las isócronas (área de influencia dada por la distancia que se puede recorrer desde un punto en un cierto intervalo de tiempo) que servirán como la capa de amenaza con una perspectiva socio económica para el módulo de evaluación de riesgo.

Nombre	Fuente	Descripción
<b>Predicciones de FAN</b>	CITIAPS-USACH	Predicción de valores toxicológicos de organismos detonadores de FAN, generados a partir de ciencia de datos.
<b>Valores toxicológicos</b>	CITIAPS-SERNAPESCA	Valores toxicológicos de eventos pasados.
<b>Áreas de cierre</b>	CITIAPS-SERNAPESCA	Áreas de producción cerradas en eventos pasados.
<b>Centros de Cultivos</b>	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura	Centros de cultivos de la región, con información relacionada al área de uso, tipo de especies cultivadas, toneladas de producción, entre otros.
<b>Empresas de la región</b>	Servicio de Impuestos Internos	Información relacionada a las empresas, sus rubros económicos y ubicación geográfica.
<b>Red Vial</b>	OpenStreetMap	Información territorialmente explícita de la red vial de la región, considerando también las direcciones de las calles.
<b>Manzanas censales</b>	Instuto Nacional de Estadística	Información territorialmente explícita de la población de la región a nivel de manzana censal, con información demográfica como cantidad de personas, hombres y mujeres, personas por rango de edad, tipo de infraestructura de vivienda, entre otros.
<b>Entidades censales</b>	Instuto Nacional de Estadística	Información territorialmente explícita de la población de la región a nivel de entidad censal (manzanas rurales), con información demográfica como cantidad de personas, hombres y mujeres, personas por rango de edad, tipo de infraestructura de vivienda, entre otros.

Tabla 1.1: Tabla de datos a utilizar.

Como se explicó en la sección 1.1.1, la evaluación de riesgo se compone de la unión entre las zonas de amenaza y las de vulnerabilidad. Los datos de vulnerabilidad para el módulo de evaluación de riesgo serán recolectados desde fuentes públicas, obteniendo datos

geográficos y no geográficos (estos últimos deberán ser espacializados), relacionados a temáticas como infraestructura crítica, tipo de vivienda, población prioritaria, densidad de población, entre otros.

La solución se implementará a nivel de base de datos (OE2 y OE3), mientras que los resultados de la herramienta serán desplegados en un visor de mapas en base al framework MapStore, el cual es alimentado por el software de servidor de mapas GeoServer, ambos desarrollados por el grupo GeoSolutions. El ecosistema en el que está inmersa la solución se muestra en la figura 1.1.

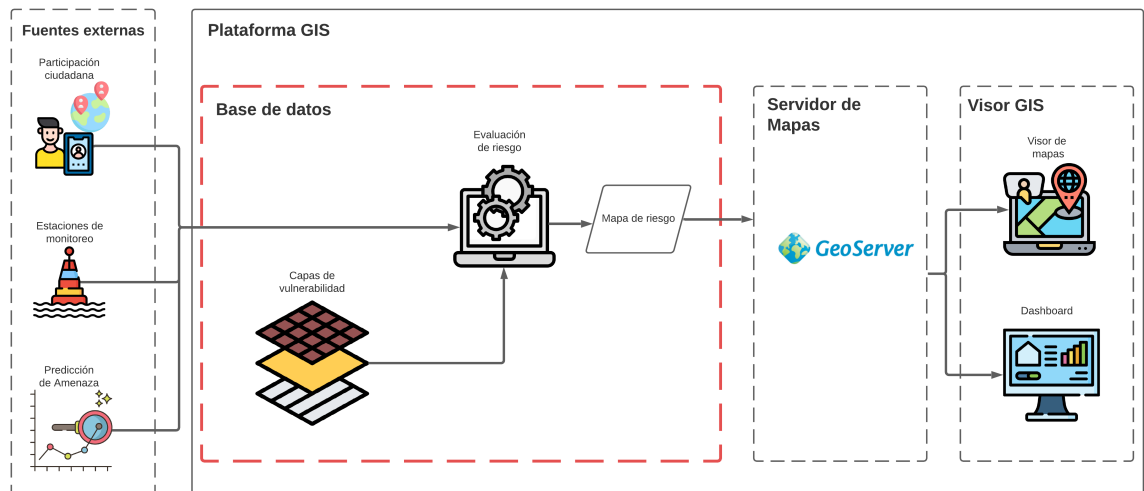


Figura 1.1: Contexto de la solución propuesta.

## 1.5 HERRAMIENTAS

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán las siguientes herramientas de software y hardware:

### 1.5.1 Hardware

El hardware utilizado en un principio corresponde a un portátil personal con las siguientes características:

1. Sistema operativo: Windows 10.
2. Memoria RAM: 16 GB.

3. Procesador: Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz.
4. Tarjeta Gráfica: Nvidia GTX 1050 2 GB.
5. SSD: 500 GB.

### **1.5.2 Software**

Los softwares utilizados en el proyecto son:

1. Lenguaje de programación SQL en base de datos PostgreSQL.
2. Librería de PostgreSQL:
  - (a) PostGIS
  - (b) pgRouting

## **1.6 IMPLICACIONES DEL ESTUDIO**

### **1.6.1 Alcances y limitaciones**

La herramienta propuesta servirá para la generación automatizada de zonas de cierre además de la evaluación de zonas de riesgo por de floraciones algales nocivas y sus efectos socio económicos en el territorio. Una de las limitaciones, es que las zonificaciones estarán sujetas a los datos de entrada, los cuales estarán a cargo de informantes calificados y estaciones de monitoreo.

## **1.7 PLAN DE TRABAJO**

### **1.7.1 Definición de actividades**

El proyecto contempla un tiempo de ejecución de un semestre académico, el cual contiene un aproximado de 18 semanas, donde se debe desarrollar el trabajo de título y comenzaría el segundo semestre del año 2021. Para esto se consideran actividades generales

para el desarrollo del proyecto en base a la metodología Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM), las cuales se detallan a continuación:

- Búsqueda de literatura: se realiza una búsqueda extensa de literatura asociada a la evaluación de riesgo costero, manejo de desastre en borde costero, riesgo asociado a las floraciones algales nocivas y técnicas de automatización geomática a nivel de base de datos.
- Recopilación de datos: búsqueda y estandarización de capas de información geográfica relacionadas a la vulnerabilidad espacial del territorio.
- Desarrollo herramienta: a partir de las actividades anteriores se desarrollarán los módulos de generación de escenarios posibles (simulación de áreas de cierre de producción acuícola) y de evaluación de riesgo espacial.
- Evaluación: la herramienta se someterá a evaluación tanto de profesionales del área informática y geomática como también a profesionales relacionados al manejo de las contingencias por FAN.
- Redacción de informe: durante todo el proyecto se documentará la metodología utilizada, el desarrollo, los resultados obtenidos y su análisis correspondiente.

Las metodología detallada de la solución, contempla la metodología CRISP-DM adaptada para este problema, obteniendo un flujo de trabajo como el que se muestra en la Figura 1.2.

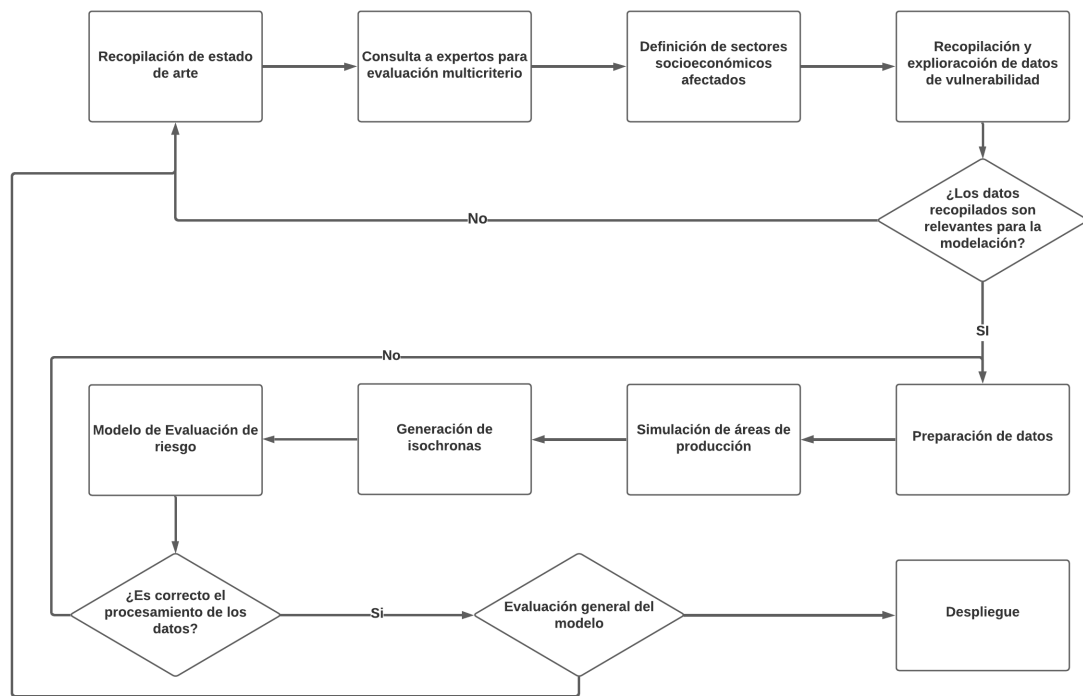


Figura 1.2: Metodología de la solución propuesta.

Respecto a la evaluación del modelo, parte de la investigación del presente proyecto contempla encontrar una metodología adecuada para estimar las pérdidas económicas en base a la población de riesgo, probablemente utilizada en otros eventos catastróficos como terremotos, tsunamis y marejadas.

### 1.7.2 Carta Gantt

A continuación se muestra una primera propuesta de la carta Gantt con las actividades a realizar a modo general.

	Septiembre			Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Actividad 1: Busqueda de literatura																		
Actividad 2: Recopilación de datos																		
Actividad 3: Desarrollo																		
Actividad 4: Evaluación																		
Actividad 1: Redacción informe																		

Figura 1.3: Carta gantt generalizada tentativa

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 TEORÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO ESPACIAL

La teoría de evaluación de riesgo ha sido generada para el análisis de riesgo entendiendo este como el resultado de la unión entre una o múltiples amenazas ya sean de origen naturales, técnicas o inducidas por el hombre y la vulnerabilidad social, económica, ecológica o física que podría ser afectada por la amenaza.

Para formalizar lo anterior y según (Cardona, 2001), el riesgo se puede definir como *“el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un suceso particular como una función de la amenaza y la vulnerabilidad”* (Ver Figura 1.1). A partir de lo anterior, Amenaza o Peligro se define como *“la probabilidad ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un lugar específico”*. A su vez, Vulnerabilidad se define como *“el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total”*.

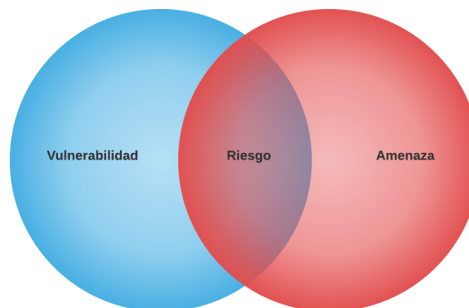


Figura 2.1: Diagrama de riesgo.

Varios estudios incorporan además al análisis, un tercer factor denominado Exposición, el cual intenta añadir información relacionada al espacio donde la amenaza podría actuar, convirtiendo a la amenaza en un factor independiente a la probabilidad de ocurrencia o exposición de la amenaza.



Figura 2.2: Diagrama de riesgo con exposición.

Con el pasar de los años, y el avance en tecnologías de la información espacial, se han ido desarrollando diferentes metodologías que buscan evaluar el riesgo de desastre utilizando información territorial, añadiendo un componente espacial y visual que permite analizar e identificar patrones e información no disponible por las evaluaciones sin esta característica. Además, permite una mejor visualización de los resultados, útiles para los tomadores de decisiones sobre un territorio o jurisdicción. Los mapas de riesgo combinan información de la amenaza, los factores detonantes y sus impactos. Además aporta indicadores e índices de vulnerabilidad con distintos enfoques como el social, económico, ambiental, entre otros (de Moel, 2015). Esto ha implicado que se realicen trabajos de evaluación de riesgo espacial, para diversos tipos de riesgo, como el análisis de riesgo sísmico, riesgo de tsunami, riesgo de contaminación ambiental, riesgo ecológico, riesgo de inundación, riesgo costero, entre otros.

Dependiendo del tipo de amenaza que se esté analizando, se definen los criterios de amenaza, vulnerabilidad y exposición. Por ejemplo en Carlon (2008), se evalúa el riesgo espacial utilizado para remediar la contaminación de suelo, para lo cual se define la amenaza como los contaminantes regulados por el estado italiano, que exceden las normas establecidas y que son peligrosos en un contexto de contaminación de suelos y aguas subterráneas. Por otro lado, definen la exposición a partir de una interpolación espacial de estaciones de monitoreo o puntos de contaminación, generando un área de exposición con diferentes grados de intensidad para el área de estudio. Finalmente el riesgo se identifica como aquellos lugares donde los contaminantes exceden los límites y si contaminan o no la salud humana o las aguas superficiales.

En las últimas décadas, se ha aumentado el número de publicaciones relacionadas a la evaluación de riesgo espacial por inundaciones, debido al aumento en la periodicidad de eventos extremos, aumento del nivel del mar por cambio climático y por la utilidad de la utilización de información territorial en la evaluación y también en la mitigación, manejo de eventos desastrosos.



En este contexto, podemos encontrar el trabajo de Luu (2018), donde se realiza una evaluación de riesgo de inundación para Quang Nam, Vietnam. En este estudio se define el riesgo como la unión entre los componentes de vulnerabilidad, riesgo y exposición. Además, cada uno de estos componentes, tiene diferentes tipos de criterio, los cuales tendrán un peso dentro de su mismo componente (Ver Tabla 2.1). Para asignar los pesos a cada uno de los componentes se utilizó un modelo de decisión multicriterio Proceso analítico jerárquico o AHP (por sus siglas en inglés), construido a partir de encuestas y entrevistas realizadas a expertos en la materia para definir el grado de influencia de cada uno de los componentes. Finalmente el resultado es un mapa de evaluación de riesgo de inundación, útil para los tomadores de decisiones en contexto de desastre y para la planificación de políticas públicas relacionadas al manejo de contingencias.

<b>Componente</b>	<b>Criterio</b>
Amenaza de inundación	Profundidad Duración
Exposición a la inundación	Uso de suelo Distancia a ríos Densidad de población
Vulnerabilidad a la inundación	Radio de pobreza Densidad de caminos Número de doctores y enfermeras

Tabla 2.1: Tabla de componentes y criterios (Luu 2018)

Por otro lado, en Fekete (2018) se hace una crítica a los modelos de evaluación espacial de riesgo, discutiendo aspectos como la data utilizada, la metodología y conceptos y evaluación de la vulnerabilidad, mientras se aplica una metodología de evaluación de riesgo de inundación por ríos en Alemania. Entre las recomendaciones, se encuentra la necesidad de validar las metodologías con expertos en el área, además de la necesidad de externalizar la evaluación de vulnerabilidad para obtener retroalimentación y aceptación tanto de expertos y posibles afectados. Por último hace énfasis en que los grupos objetivos para los que se hacen estos estudios sean para los tomadores de decisiones ya que los resultados son mapas que pueden ayudar a mejorar las políticas públicas. El otro grupo objetivo son los científicos e investigadores, ya que es necesario poder avanzar en temas de evaluación y manejo de situaciones de riesgo.

## 2.2 TEORÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGO COSTERO

Si bien esta metodología de evaluación de riesgo es aplicada principalmente a amenazas en tierra, en los últimos años se han ido desarrollando adaptaciones a las zonas

costeras, con aplicaciones principalmente para la evaluación de riesgo de tsunamis (Goda, 2015), e inundaciones por marejadas (Burzel, 2014). Bajo este mismo lente, (Lam, 2017) propone un metodología para la evaluación de riesgo para infraestructura portuaria por desastres naturales y climas extremos, donde define 5 etapas para la evaluación de riesgo: Identificación de peligro, Identificación de vulnerabilidad física de puertos, identificación de medidas de manejo de riesgo en puertos de mar, identificación de activos y su valoración y por último el análisis de exposición (riesgo total). Ésta metodología podría ser adaptada para el caso de estudio si se enfoca más en el riesgo socio económico que netamente físico y económico.

Respecto a la evaluación de riesgo de inundaciones, el trabajo de Hadipour (2020) evalúa el riesgo de inundación para la ciudad de Bandar Abbas en Irán para escenarios futuros de cambio climáticos RCP 2.6 y RCP 8.5, desarrollados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático o IPCC por sus siglas en inglés. El riesgo fue definido como la unión entre amenaza, vulnerabilidad social y la exposición, subdividiendo a su vez la vulnerabilidad social en susceptibilidad y capacidad de resiliencia (Ver tabla 2.2). Para dar pesos a cada uno de los criterios, se realizó un modelo de decisión multicriterio AHP en base a entrevistas con expertos en el área.

Componente	Sub-Componente	Criterio	Variable proxy
Amenaza		Aumento en nivel del mar	Profundidad de inundación
		Rango de marea	
		Oleaje	
		Viento	
Vulnerabilidad social	Susceptibilidad	Tormenta	Densidad de población (%) Población con discapacidad (%) Niños menores de 5 años (%) Población mayor de 65 años (%)
		Población	
		Edad	
		Género	
	Capacidad de resiliencia	Estatus socioeconómico	Mujeres (%)
			Empleabilidad (%) Personas con estudios universitarios (%)
Exposición		Radio de pobreza	Densidad de población (%)

Tabla 2.2: Tabla de componentes, indicadores y variables de riesgo en Hadipour (2020)

Algo similar se realizó en el documento “Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile”, desarrollado por el ministerio de Medio Ambiente (MMA), donde se define el riesgo como la unión entre la vulnerabilidad, exposición y amenaza. Lo que buscan es identificar las nuevas zonas de riesgo de inundación por marejadas en el borde costero de las principales playas de la costa Chilena, en función de escenarios de cambio climático desarrollados por la IPCC (amenaza). Para la vulnerabilidad se utiliza la información censal entregada por el INE, además de un inventario de elementos vulnerables, de diferentes tipos como biodiversidad, economía, equipamiento, infraestructura, población y otros. La exposición se define como las nuevas líneas de marea generadas por las amenazas propuestas en los escenarios de

cambio climático (MMA, 2019).

## 2.3 RIESGO POR FLORACIONES ALGALES NOCIVAS

Según (Ekstrom, 2020), los esfuerzos por preparar y responder a las FAN, se han enfocado principalmente en minimizar los efectos en la salud pública, pero los esfuerzos por reducir los impactos socioculturales y económicos, han sido mucho menores, probablemente debido a la falta de información en estos aspectos. El autor también propone un *framework* para el manejo de riesgo de desastre compuesto por 4 fases, donde las dos primeras corresponden a fases pre-desastre y las dos restantes a fases durante-post desastre:

- Mitigación y prevención
- Predicción y alertas tempranas
- Respuesta al evento
- Recuperación y reconstrucción

## 2.4 HERRAMIENTAS DE GESTIÓN EXISTENTES

En la actualidad existen sistema de gestión de riesgo de amenaza utilizando tecnologías GIS, en este contexto podemos encontrar a RiskOTe Mileu (2018), el cual es un sistema de evaluación de riesgo web, el cual entrega mapas para los tomadores de decisiones con enfoque en la planificación territorial para distintos tipos de amenazas, como sísmica, tsunami, deslizamientos, incendios forestales, entre otros. Esta plataforma mantiene la información de vulnerabilidad, mientras que cambia los escenarios de amenaza, obteniendo una evaluación de riesgo a nivel de gobiernos locales en Portugal para las diferentes tipos de amenazas, según los escenarios que se ingresen como input al programa.

Otra plataforma disponible es la desarrollada por Tian (2019), la cual es una plataforma GIS con arquitectura servicio-orientada de predicción temprana de Floraciones Algaes Nocivas (FAN) para China, utiliza como entradas información en tiempo real de estaciones de monitoreo de toxicidad e imágenes satelitales que permiten generar mapas de probabilidad de floración que permiten a los tomadores de decisiones reaccionar de manera rápida a los eventos de marea roja y a sus posible repercusiones socio económicas en el territorio.

No se encontraron herramientas de gestión de marea roja en un contexto socio económico.

## **2.5 HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DISPONIBLES**

En base a la revisión de la literatura descrito en la sección anterior, la disponibilidad de datos y contexto en el que se desarrolla la solución, se ha optado por diseñar un modelo de evaluación de escenarios de riesgo en base a distintas capas vectoriales con atributos espaciales, cruzadas con información resultante de la generación de la simulación de zonas de cierre, a partir de información proveniente de modelos predictivos de amenaza (predicción de floraciones algales nocivas), participación ciudadana en terreno y datos de las estaciones de monitoreo disponibles, obteniendo una capa de información territorial donde se determinan las zonas de riesgo socio económico.

La generación de estos modelos espaciales de evaluación de riesgo se realizan principalmente mediante softwares que permitan la manipulación de información territorial y automatización de procesos geomáticos, también llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG). Dentro de los SIG que permiten la generación de estos modelos, se destaca el software de uso pagado ArcGIS de ESRI (Desktop y Server), su contra parte Oper-source QuantumGIS y algunos framework de trabajo como Geospatial Data Abstraction Library (GDAL), el cual dispone de APIs para lenguajes de programación como Python, C y R. Finalmente podemos destacar las soluciones a nivel de base de datos SQLite y PostgreSQL, como SpatialLite y PostGIS respectivamente. Cuando hablamos de las herramientas existentes para la determinación de zonas de riesgo, es importante recordar que en el manejo de contingencias y toma de decisiones, el tiempo de respuesta importa, ya que una prematura generación de información podría ayudar a tomar las decisiones en el tiempo correcto, siendo las soluciones a nivel de bases de datos y las soluciones basadas en lenguajes de programación de propósito general (como C), las que entregan resultados en menor tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burzel, A. (2014). Spatial modeling of tangible and intangible losses in integrated coastal flood risk analysis. *Coastal Engineering Journal*, 57(01), 1540008.
- Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Universidad politécnica de Cataluña.
- Carlón, C. (2008). A spatial risk assessment methodology to support the remediation of contaminated land. *Environment International*, 34(3), 397-411.
- Clement, A. (2016). Exceptional summer conditions and habs of pseudochattonella in southern chile create record impacts on salmon farms. *Harmful Algae News*, 53, 1-3.
- de Moel, H. (2015). Flood risk assessments at different spatial scales. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20(6), 865-890.
- Díaz, P. (2013). Efecto de anomalías climáticas sobre las floraciones de alexandrium catenella en el sur de chile. *Ciencia y tecnología para una acuicultura sostenible*, Resumen del IV Congreso nacional de Acuicultura.
- Díaz, P. (2017). Impacts of harmful algal blooms on the aquaculture industry: Chile as a case study. <https://www.aquaculturealliance.org/wp-content/uploads/2017/05/Final-Chile-report.pdf>.
- Ekstrom, J. A. (2020). Examining harmful algal blooms through a disaster risk management lens: A case study of the 2015 us west coast domoic acid event. *Harmful algae*, 94, 101740.
- Fekete, A. (2018). Spatial disaster vulnerability and risk assessment; challenges in their quality and acceptance. *Natural hazards*, 61(3), 1161-1178.
- Gallardo-Rodriguez, J. (2019). A critical review on control methods for harmful algal blooms. *Reviews in Aquaculture* 11.3 (2019): 661-684.
- Global Aquaculture Alliance (2017). Harmful algal blooms assessing chile's historic hab events of 2016. <https://www.aquaculturealliance.org/wp-content/uploads/2017/05/Final-Chile-report.pdf>.
- Goda, K. (2015). Probabilistic tsunami damage assessment considering stochastic source models: Application to the 2011 tohoku earthquake. *Coastal Engineering Journal*, 57:3, 1550015-1-1550015-38, DOI: 10.1142/S0578563415500151.
- Guzmán, L. (1973). Estudios sobre un florecimiento toxico causado por gonyaulax catenella en magallanes. iv. distribución y niveles de veneno paralítico de los mariscos (noviembre de 1972 - noviembre de 1973). *Anales del Instituto de la Patagonia*, 6, 209-223.
- Hadipour, V. (2020). Coastal flooding risk assessment using a gis-based spatial multi-criteria decision analysis approach. *Water*, 12(9), 2379.
- Hallegraeff, G. (1993). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia*, 32(2), 79-99.
- Lam, J. S. L. (2017). Risk assessment framework for exposure of cargo and ports to natural hazards and climate extremes. *Maritime Policy & Management*, 44:1, 1-15, DOI: 10.1080/03088839.2016.1245877.
- Luu, C. (2018). A flood risk assessment of quang nam, vietnam using spatial multicriteria decision analysis. *Water*, 10(4), 461.
- Mileu, N. (2018). Integrating risk assessment into spatial planning: Riskote decision support system. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(5), 184.

- MMA (2019). Determinación del riesgo de los impactos del cambio climático en las costas de Chile. Volumen 2: Exposición de zonas costeras Ministerio del Medio Ambiente.
- Molinet (2003). Patrones de distribución espacial y temporal de floraciones de *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoed) Balech 1985, en aguas interiores de la Patagonia Noroccidental de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 76, 681-698.
- Tian, Y. (2019). An integrated web-based system for the monitoring and forecasting of coastal harmful algae blooms: Application to Shenzhen City, China. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(9), 314.