

**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	Antecedentes y motivación . . . . .	1
1.2	Descripción del problema . . . . .	2
1.3	Brecha en laaaaaaaa . . . . .	3
1.4	Solución propuesta . . . . .	3
1.4.1	Pregunta . . . . .	4
1.4.2	hipótesis . . . . .	4
1.5	Objetivos . . . . .	4
1.5.1	Objetivo general . . . . .	4
1.5.2	Objetivos específicos . . . . .	4
1.6	Implicaciones . . . . .	5
1.6.1	Alcances . . . . .	5
1.6.2	Limitaciones . . . . .	5
1.6.3	Consideraciones éticas . . . . .	5
1.7	Oragnización del documento . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Estado del arte</b>	<b>6</b>
2.1	Evaluación de riesgo espacial . . . . .	6
2.2	Evaluación de riesgo costero . . . . .	9
2.3	Teoría de evaluación de riesgo costero . . . . .	9
2.4	Evaluación de consecuencias económicas por los HAB . . . . .	10
2.4.1	The economic effects of harmful algal blooms . . . . .	10
2.4.2	Assessing the economic consequences of HAB . . . . .	11
2.4.2.1	Metodología de investigación . . . . .	12
2.5	Evaluación de riesgo para FAN . . . . .	15
2.6	Herramientas existentes . . . . .	16
2.7	Machine Learning aplicado a.... . . . .	16
<b>3</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>17</b>
3.1	Procedimiento experimental . . . . .	17
3.2	Software y Hardware . . . . .	18
3.2.1	Software . . . . .	18
3.2.2	Hardware . . . . .	18
3.3	Datos . . . . .	18
3.4	Calibración . . . . .	19
3.5	Evaluación de riesgo . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Resultado y análisis</b>	<b>20</b>
4.1	Resultados . . . . .	20
4.2	Análisis de resultados . . . . .	20
<b>5</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>21</b>
	<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>22</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Tabla de componentes y criterios (Luu 2018) . . . . .	8
Tabla 2.2	Tabla de componentes, indicadores y variables de riesgo en Hadipour (2020) .	9

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 2.1	Diagrama de riesgo. . . . .	6
Figura 2.2	Diagrama de riesgo con exposición. . . . .	7
Figura 3.1	Metodología de la solución propuesta. . . . .	17

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

ASDSADASDASDASA ????????????????????

## 1.1 ANTECEDENTES Y MOTIVACIÓN

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.

## **1.2 DESCRIPCIÓN 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.

### 1.3 BRECHA EN LAAAAAAAAAAAA

ASDASDSADSADSAD ???????????????????

### 1.4 SOLUCIÓN PROPUESTA

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.



#### **1.4.1 Pregunta**

ASDSADSADSADSADSA ??????????????????????

#### **1.4.2 hipótesis**

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.

### **1.5 OBJETIVOS**

ASDASDSADSADSADSA ??????????????????????

#### **1.5.1 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.

#### **1.5.2 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.

## **1.6 IMPLICACIONES**

ASDSADASDSADAS ????????????

### **1.6.1 Alcances**

ASDSADASDSADAS ????????????

### **1.6.2 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.

### **1.6.3 Consideraciones éticas**

ASDSADASDSADAS ????????????

## **1.7 ORAGNIZACIÓN DEL DOCUMENTO**

sadsadsadsadsadsadsad

## CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

aasd

### 2.1 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”*.

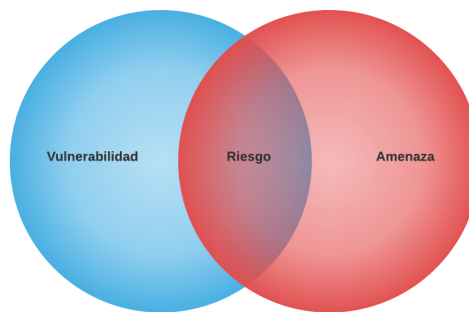


Figura 2.1: Diagrama de riesgo.

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 EVALUACIÓN DE RIESGO COSTERO

## 2.3 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 tsunami (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).

## **2.4 EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS ECONÓMICAS POR LOS HAB**

### **2.4.1 The economic effects of harmful algal blooms**

Los economistas deben tener en cuenta los posibles cambios en el superávit debido a los llamados "HABs" en mercados relevantes. Estos mercados suelen estar vinculados a actividades humanas en la costa o en el océano, como la pesca, el turismo y el trabajo en el sector marítimo. Además, es importante tener en cuenta que los HABs también pueden tener un impacto negativo en el medio ambiente, como la muerte de mamíferos marinos, que no siempre están sujetos a mercados establecidos. En este caso, los economistas deben utilizar modelos hipotéticos de mercado o buscar cambios en otros mercados reales vinculados al medio ambiente para evaluar las pérdidas asociadas. Es fundamental que se realice una evaluación cuidadosa de estos cambios en el superávit para poder tomar decisiones informadas y proteger tanto los intereses económicos como el medio ambiente.

El "efecto halo" se refiere a pérdidas económicas que son indirectas pero relacionadas con eventos de HAB (eventos de aguas con algas tóxicas). El origen del término es incierto, pero se cree que fue utilizado por primera vez hace cincuenta años por Jensen (1975) en relación con el miedo a la comida después del bloom de *Alexandrium taarense* en el Golfo de Maine en 1975. Ejemplos de este efecto incluyen una disminución del consumo de alimentos marinos, incluyendo no solo mariscos, entre turistas en áreas conocidas por tener eventos HAB. Otro factor importante es que a menudo es difícil para la población entender que solo ciertos alimentos están contaminados y no afectan a otros, lo que lleva a una disminución del consumo incluso de especies que no están directamente afectadas por el HAB. Los estudios económicos sobre el impacto de los HAB en el superávit económico son escasos debido a la falta de datos, la baja frecuencia de estos eventos en algunas regiones y la escala local de muchos de ellos.

A menudo se presentan estimaciones brutas de los efectos económicos conocidos como "impactos económicos" como una medida de las pérdidas asociadas con eventos HAB. Por ejemplo, se ha estimado que las pérdidas en las ventas de mariscos en Maine y Massachusetts debidas a los cierres impuestos por el bloom de Alexandrium en 2005 fueron de 2,7 millones de dólares en junio. Estas estimaciones se obtienen examinando las estadísticas históricas de la pesca y la acuicultura y multiplicando el resultado por el precio de venta. Sin embargo, estas estimaciones de impactos económicos no miden los cambios en los valores económicos mencionados anteriormente. Aun así, estas estimaciones pueden ser útiles porque son fáciles de realizar, nos dan una idea general de la escala del problema en términos monetarios familiares y nos ayudan a identificar mercados relevantes y áreas geográficas potenciales donde podrían ocurrir pérdidas económicas.

La estimación de los impactos económicos puede no ser del todo precisa por varias razones. En primer lugar, estrictamente hablando, el impacto económico no mide el cambio en las ganancias o beneficios, por lo que no se debe utilizar para tomar decisiones sobre la mejor forma de responder a los eventos HAB. Además, en condiciones de mercado relativamente normales, las estimaciones de impactos económicos deberían exceder las estimaciones de pérdidas de beneficios para los productores. Además, las estimaciones de impactos económicos no tienen en cuenta los cambios en la distribución de beneficios. Por ejemplo, un cierre de una zona de pesca podría resultar en una reducción del suministro de cierto tipo de marisco al mercado, lo que podría hacer que el precio aumente. Los productores que no pueden pescar este marisco experimentarían una disminución de beneficios, mientras que aquellos que pueden pescar en otras áreas abiertas podrían obtener mayores beneficios debido al aumento del precio. Sin embargo, estos mayores beneficios serán pagados por los consumidores, que tendrán que pagar un precio más alto. Estos beneficios obtenidos por los consumidores no representan una verdadera pérdida para la economía, sino que simplemente se transfieren de los consumidores a las empresas que aún están en el mercado. Además, los productores que están cerrados no tendrán costos de pesca (aunque necesitarán dinero para manejar sus especies que no se pescarán). Los informes de impactos económicos no captan estas sutilezas de los cambios en los beneficios.

#### **2.4.2 Assessing the economic consequences of HAB**

Este paper busca caracterizar 36 papers relacionados a las consecuencias económicas producidas por HABs. El texto se divide en 4 aspectos generales de estas consecuencias: (1) Metodologías utilizadas para evaluar los efectos económicos (2) las fuentes y tipos de datos (3) dimensiones espaciales como temporales de los análisis (4) y las características físicas de las



amenazas relevantes (especie y efecto dañinos que son medidos)

#### *2.4.2.1 Metodología de investigación*

En aplicaciones que se basan en métodos de mercado, es importante evaluar cómo se distribuyen los efectos entre productores (empresas o individuos privados), consumidores o ambos. Los métodos de mercado directo utilizan datos que reflejan cambios en el valor de mercado, los ingresos o los gastos, como la pérdida de ventas en mercados de alimentos marinos, informes de pérdidas de ventas en negocios cercanos a cuerpos de agua o el costo de monitorear HABs. Los métodos de sustitución de mercado utilizan datos de mercados relacionados o sustitutos para medir los cambios en los valores, como la depreciación del valor real de un bien o el aumento en los costos de viaje a sitios turísticos sustitutos.

Ideales, con datos de mercado, se podrían desarrollar modelos de oferta y demanda en el producto o servicio relevante y calcular las pérdidas de beneficios para productores y consumidores cuando un evento de HAB negativo afecta el uso de la costa o los recursos del océano.

La medición de pérdidas para los productores utilizando datos de mercado directo es uno de los enfoques más comunes (aunque también tiene algunas limitaciones en su aplicación) para evaluar los efectos económicos. A pesar de estas limitaciones, este enfoque es relativamente fácil de implementar y se ha utilizado para la creación de políticas en la evaluación de las necesidades de los productores afectados negativamente por los "desastres" de las HABs. A menudo, se estima la pérdida de ingresos mediante la reducción o pérdida de output en un mercado, como el mercado de alimentos marinos, multiplicada por el precio de la pérdida de output. Estas estimaciones se conocen como pérdidas directas de ingresos o impactos directos de output (DOIs). Si se dispone de un modelo de economía regional input-output o IO, se pueden evaluar los impactos directos e indirectos ajustando la estimación de DOIs con un multiplicador. Los impactos inducidos son cambios en los gastos de los trabajadores en los sectores afectados directa e indirectamente. En la práctica, el enfoque DOI se ha utilizado para determinar el nivel de compensación por desastre que reclaman las pesquerías según una ley federal de sostenibilidad de los EE. UU. Por ejemplo, los impactos directos, indirectos e inducidos en los centros de producción de mitílicos cerrados en New England resultaron del bloom de *Alexandrium fundyense*, un evento de HAB que puede causar síndrome de parálisis por intoxicación en humanos. Estos impactos fueron evaluados por las oficinas estatales de Maine, New Hampshire y Massachusetts y se aprobó una compensación por desastre solicitada en 2005 y 2008.

Desde una perspectiva del bienestar económico, y aunque las estimaciones de

DOIs no hagan match con las verdaderas pérdidas económicas, sin un cuidadoso modelamiento de mercados relevantes, la relación entre dos métricas de efectos económicos puede ser indeterminada.

La razón de esto es que la composición de los impactos directos incluye las utilidades de los productores (pérdidas o ganancias de negocios) y el costo de suministro. Cuando los centros acuícolas se cierran, por ejemplo, los productores renuncian a las utilidades de la producción (una verdadera pérdida económica) pero no incurren en costos de producción o cosecha y, por lo tanto, no hay pérdidas asociadas. El uso de multiplicadores input-output podría incluso sobrestimar aún más las pérdidas estimadas en los mercados de proveedores. Por otro lado, los impactos directos podrían subestimar las pérdidas económicas en aquellas que no se deben a la pérdida de utilidades para los consumidores. Sin un modelo explícito de los mercados relevantes, no es posible caracterizar el grado de sobrestimación o subestimación de los cambios en los valores económicos.

Los efectos económicos de los eventos de HAB marinos también pueden variar dependiendo de la flexibilidad de las personas y empresas para evitar estos efectos negativos. Por ejemplo, los turistas pueden optar por visitar otros restaurantes o hoteles, cambiar a otras playas o buscar trabajo en otro lugar. En general, es difícil asumir que habrá una pérdida económica para los productores o consumidores cuando optan por una alternativa a su actividad preferida, pero la escala de dichas pérdidas depende de la disponibilidad de alternativas y la facilidad de cambio. Si el costo de cambiar es bajo, otros sectores de la economía pueden beneficiarse y mitigar así los impactos económicos de los sectores que son afectados directamente por el bloom. Algunos estudios han medido esto como impactos compensatorios. Un ejemplo es el aumento en el precio del mercado de pescado en Nueva York durante un bloom de *Alexandrium* de larga duración que afectó la producción y suministro de almejas de concha blanda *Mya arenaria* en el golfo de Maine en 2005 (Jin et al 2008). Al principio del bloom, los consumidores todavía podían encontrar estas almejas, pero a un precio muy alto. Los precios disminuyeron cuando el bloom terminó, lo que sugiere que los consumidores cambiaron a otros tipos de alimentos marinos o que el suministro de otros mercados se expandió a productores de otras regiones que no fueron afectados por el bloom.

El uso de modelos regionales de impacto económico puede proporcionar a los tomadores de decisiones una comprensión de los cambios en la distribución de actividades económicas a lo largo de la economía. Por ejemplo, Dyson y Huppert utilizaron un modelo input-output para estimar los cambios en el empleo y los ingresos locales debido al cierre de la pesca recreativa de almejas en seis playas de la costa de Washington, encontrando que un año de cierre podría resultar en una disminución local de los ingresos de aproximadamente 11 millones de dólares y la pérdida de cerca de 340 trabajos locales. Además, la flexibilidad de individuos y

empresas para evitar los efectos negativos de los blooms marinos también debe tenerse en cuenta al evaluar los impactos económicos. Si el costo de cambiar a otras opciones es bajo, es posible que otros sectores de la economía se beneficien, lo que atenúa los impactos económicos en los sectores directamente afectados por el bloom.

Un enfoque que mide las pérdidas de los consumidores utilizando datos de mercado directos y alternativos se conoce como el enfoque de "preferencia revelada". Esto se basa en los valores económicos que pueden obtenerse o demostrarse a través de datos de mercado, como a través de observaciones de los gastos de los consumidores. Estos consumidores pueden ser dueños de restaurantes o turistas recreacionales. La información de mercado puede obtenerse directamente de negocios o a través de encuestas que preguntan a los turistas sobre cómo cambiaron su comportamiento durante un evento de HAB. Por ejemplo, utilizando un enfoque de series de tiempo, Larkin y Adams (2007) encontraron que en promedio, las reservas mensuales y los ingresos de los restaurantes disminuyeron aproximadamente un tercio durante el mes en que Florida tuvo mareas rojas en las comunidades de dos costas del norte de Florida. Del mismo modo, Morgan (2009) encontró que las ventas diarias disminuyeron en los restaurantes de la costa durante la marea roja en Florida. La ventaja de utilizar datos de preferencias demostradas es que reflejan las elecciones que deben tomar los usuarios en respuesta al evento.

Es importante evaluar cómo los efectos de los eventos de HABs se distribuyen entre productores (empresas privadas o individuos), consumidores o ambos. Los métodos de mercado directo utilizan datos que reflejan cambios en el valor de mercado, ingresos o gastos, como la pérdida de ventas en mercados de alimentos marinos o el costo de monitoreo de HABs. Los métodos de sustitución de mercado utilizan datos de mercados relacionados o sustitutos para capturar cambios en los valores, como la depreciación en el estado de valor real o el aumento en los costos de viaje hacia sitios de recreación de sustitución. A veces, es difícil determinar si hay una pérdida económica para los productores o consumidores cuando ellos cambian de sus actividades preferidas a alguna alternativa, pero la escala de estas pérdidas depende de la disponibilidad de alternativas y la facilidad de cambio. Los acercamientos de preferencias reveladas se basan en datos de mercado y las preferencias declaradas se basan en encuestas que preguntan a los individuos sobre su disposición a pagar por ciertos bienes o servicios. Los acercamientos de preferencias declaradas también pueden preguntar a los encuestados cómo habrían votado en un referéndum para establecer un programa para prevenir pérdidas relacionadas con HABs.

Los acercamientos de preferencias declaradas son una forma de evaluar el valor económico de bienes o servicios que no tienen un precio de mercado directo. En lugar de basarse en datos de mercado, se basan en encuestas que preguntan a las personas cuánto estarían dispuestas a pagar por un determinado bien o servicio. Estos acercamientos son útiles cuando no hay datos de preferencias reveladas disponibles, como en el caso de programas propuestos

para mitigar los efectos de las HAB. Un método comúnmente utilizado para medir estos valores es la valoración contingente, que se basa en un escenario hipotético presentado a los encuestados. Una ventaja de estos acercamientos es que permiten medir las preferencias de los usuarios de manera precisa, en lugar de estar limitados por datos que pueden no reflejar adecuadamente esas preferencias.

El uso de encuestas de preferencias declaradas también tiene la ventaja de poder medir de manera específica la información necesitada. Sin embargo, esta flexibilidad también es su mayor crítica, ya que los encuestados pueden ser preguntados sobre programas o cambios hipotéticos con los que pueden tener poca experiencia o conocimiento. Por ejemplo, algunos investigadores se han centrado en medir el valor de reducir el efecto "halo" en la economía, que consiste en la evasión de consumidores de bienes como la comida del mar debido a la percepción de que existe un riesgo de contaminación por un HAB. Las metodologías de preferencias declaradas, como la valoración contingente (CVM), pueden ser útiles para preguntar a los consumidores de alimentos del mar en el Atlántico si estarían dispuestos a pagar por un programa obligatorio de inspección de alimentos del mar que podría aumentar el precio de estos productos. Aunque hay una gran cantidad de literatura disponible sobre el uso adecuado de las metodologías de preferencias declaradas para generar valores económicos válidos, también existe cierta incertidumbre sobre si ciertos factores, como la mortalidad de peces *Pfiesteria spp.*, tienen un impacto real en la salud humana a través del consumo de alimentos del mar.

De los 36 estudios revisados, 28 utilizaron métodos de mercado o preferencias reveladas para estimar las pérdidas económicas. La mayoría de estos se basaron en datos de agencias gubernamentales o proporcionados por negocios o individuos. Cuatro estudios utilizaron modelos de entrada-salida para determinar el impacto económico de un HAB en las comunidades locales. Además, seis estudios usaron preferencias declaradas, la mayoría a través de encuestas a residentes o empleados de agencias. Dos estudios utilizaron tanto preferencias reveladas como declaradas, a través de encuestas sobre comportamientos pasados y preferencias hipotéticas sobre cambios en la calidad del agua en la costa.

## 2.5 EVALUACIÓN DE RIESGO PARA FAN

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

## **2.6 HERRAMIENTAS 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, tsunamis, 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 Algales 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.

## **2.7 MACHINE LEARNING APLICADO A....**

as

## CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

aasd

### 3.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

asd

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.

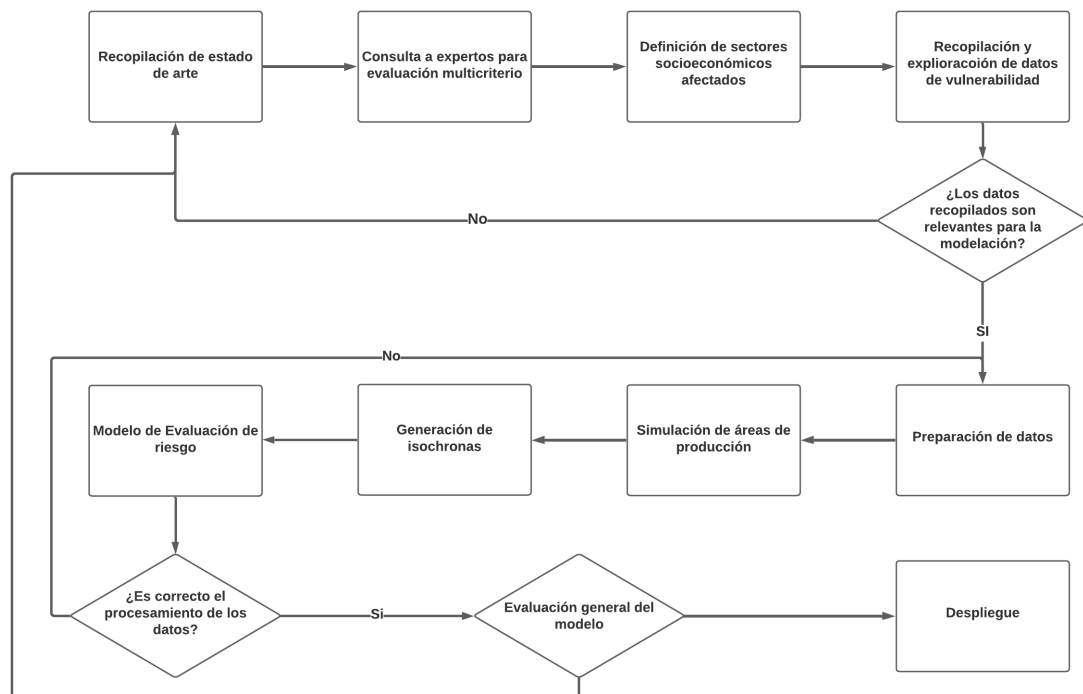


Figura 3.1: Metodología de la solución propuesta.

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.

## **3.2 SOFTWARE Y HARDWARE**

### **3.2.1 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

### **3.2.2 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.

asd

## **3.3 DATOS**

asd

### **3.4 CALIBRACIÓN**

asd

### **3.5 EVALUACIÓN DE RIESGO**

asd



## **CAPÍTULO 4. RESULTADO Y ANÁLISIS**

aasd

### **4.1 RESULTADOS**

asd

### **4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

asd

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

aasd

## 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.