



**UNIVERSIDAD VIÑA DEL MAR.
ESCUELA DE INGENIERIA.**

**VULNERABILIDAD Y ADAPTABILIDAD DE LA
INDUSTRIA PORTUARIA DE LA REGIÓN DE
VALPARAÍSO FRENTE A ESCENARIOS DE CAMBIO
CLIMÁTICO.**

**INFORME DE TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL.**

GRADUADOS.

**LUIS FIGUEROA FABREGA
MACARENA TORO DELGADO
ROGERIO GÁNDARA PUGGIONI**

Tutor Guía: HECTOR SILVA BOBADILLA

**Año
2018**

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS.

Agradecimientos.

A nuestras familias por su paciencia y apoyo infinito. A nuestros compañeros y compañeras por compartir sus angustias y alegrías.

Los Autores.

Dedicatorias.

A mi esposa Paulina, sin tu compañía no podría disfrutar a plenitud de este viaje maravilloso que un día decidimos iniciar juntos, y a mi hija Emilia, cuyos ojos verán cosas que nosotros solo podremos imaginar...las quiero.

Luis Figueroa Fábrega.

A mis padres y mi familia por su apoyo incondicional en esta nueva aventura, a mi pareja por su paciencia y creer en mí, a mis amigos que esperan y alientan en creer en los cambios. La naturaleza habla y los hombres no escuchan.

Macarena Toro Delgado.

A Dios, mi familia, y en especial a mi esposa Susana.

Rogelio Gándara Puggioni.

ÍNDICE

Agradecimientos		2
Índice		3
Lista de Figura		7
Lista de Tabla		9
Glosario		11
Resumen Ejecutivo		13
Abstract		16
Introducción		19
Capítulo I:	Descripción del sistema bajo estudio	22
1.1.	Características ambientales en que se encuentran los sistemas portuarios sujetos a estudios.	22
1.1.1	Zona Costera del Puerto de San Antonio	22
1.1.2	Zona Bahía Quintero.	23
1.2	Características de los sistemas portuarios sujetas a estudios.	26
1.2.1	Actividad Portuaria San Antonio.	26
1.2.2	Actividad Portuaria en Quintero	29
Capítulo II:	Problema Investigación, Análisis y objetivos.	32
2.1	Planteamiento de la problemática.	32
2.2	Objetivos	34
2.2.1	Objetivo general.	34
2.2.2	Objetivos Específicos.	34
2.2.2.1	Confeccionar un modelo DPSIR para identificar las presiones a las que están expuestos los sistemas portuarios en estudio, ante escenario de Cambio Climático.	34
2.2.2.2	Realizar una evaluación de vulnerabilidad y riesgo ante escenarios de Cambio Climático de la infraestructura y procesos de los sistemas portuarios en estudio.	34
2.2.2.3	Formular un plan de acción para implementación de opciones de adaptación en relación con el cambio climático para los sistemas portuarios en estudio.	34

Capítulo III:	Diagnósticos de Antecedentes	35
3.1	Escenarios actuales y futuros ante condiciones de cambio climático.	35
3.1.1	Orígenes y efectos relacionados al cambio climático a nivel internacional.	35
3.1.2	Escenarios proyectados del cambio climático a nivel internacional.	38
3.2	Modelos operativos del sistema portuario.	41
3.3	Modelos conceptuales en estudios Ecosistemas.	43
3.4	Forzantes climáticos que pueden afectar la actividad portuaria.	48
3.4.1	Aumento del nivel del mar.	49
3.4.2	Efectos originados por el oleaje.	50
3.4.3	Efectos originados por el viento.	50
3.4.4	Efectos originados por fuertes precipitaciones en corto periodos de tiempo.	51
3.4.5	Efectos originados por el cambio brusco de temperatura.	51
3.4.6	Evaluación de Vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático.	52
Capítulo IV:	Métodos Empleados.	57
4.1	Metodología del objetivo específico 1: confeccionar su modelo DPSIR para identificar las presiones a las que están expuestos los sistemas portuarios un estudio ante el escenario de Cambio Climático	57
4.1.1	Revisión y recopilación de información de ambiental existente tanto académicamente como organismos públicos.	57
4.1.2.	Creación de un modelo conceptual de los impactos del cambio climático en las distintas zonas de operaciones del sistema portuario.	58
4.1.3	Creación de un modelo para identificar efectos del cambio climáticos en las distintas zonas de operación del sistema portuario.	58
4.2	Metodología del objetivo específico 2: Realizar una evaluación	59

	de vulnerabilidad y riesgo ante escenarios de Cambio Climático de la infraestructura y procesos de los sistemas portuarios en estudios.	
4.2.1	Identificación de factores que afectan el éxito en el funcionamiento de los sistemas portuarios en estudio.	59
4.2.2	Determinación del índice de riesgo Climático Empresarial.	59
4.2.3	Determinación de la vulnerabilidad climática empresarial.	63
Capítulo V:	Resultados.	68
Capítulo VI	Discusión	84
Capítulo VII	Conclusión	88
Capítulo VIII	Bibliografía	90
Capítulo IX	Anexo	97

LISTA DE FIGURA

LISTA DE FIGURAS E IMÁGENES		
Figura 1	Ubicación geográfica de la zona costera del Puerto de San Antonio (Elaboración Propia 2018).	
Figura 2	Ubicación geográfica de la bahía de Quintero (Elaboración Propia 2018).	
Figura 3	Distribución de los distintos terminales marítimos que componen el Puerto de San Antonio (Fuente Plan Maestro EPSA 2013)	
Figura 4	Distribución de los distintos terminales marítimos presentes en la Bahía de Quintero (Fuente Elaboración Propia 2018)	
Figura 5	Concentración atmosféricas de gases de efecto invernadero dióxido de Carbono (CO ₂ , Verde) Metano (CH ₄ naranja) y Oxido Nitroso (N ₂ O, Rojo) Determinados a partir de cores de hielo (Puntos) y mediciones atmosféricas directas (Líneas) (modificado de IPCC, 2014)	
Figura 6	Anomalía de temperatura combinada de la superficie terrestre y oceánica en relación con el promedio durante el periodo de 1986 a 2005. Los colores indican diferentes conjuntos de datos (Modificaciones de IPCC, 2014).	
Figura 7	Cambios promedio anual y global del nivel del mar en relación con el promedio durante el periodo de 1986 a 2005 en el conjunto de datos de mayor duración. Los colores indican diferentes conjunto de datos (Modificado de IPCC, 2014)	
Figura 8	Representación esquemática de los impactos del Cambio Climático proyectados para Chile. Se indican Impactos sectoriales y proyecciones climáticas (para el escenario). Con respecto a los Impactos Sectoriales se	

	consideran 2 alternativas, colores rojo y verde implican impactos negativos y positivos respectivamente, mientras que el negro implica la necesidad de mayor conocimiento (Tomado de CEPAL 2012)	
Figura 9	Modelo de las 3 regiones que definen al sistema portuario según Gomis & Álvarez 2016, Lee & Dongjoo 2016. (Modificado de Lee & Dongjoo 2016)	
Figura 10	Modelo operativo y zonificación del sistema portuario en base a lo sugerido por Lozada et al 2013.	
Figura 11	Diagrama de los distintos niveles que componen los modelos conceptuales Ecosistémicos DPSIR (modificado de World Ocean Assessment Overview 2002)	
Figura 12	Procesos de adaptación y sus cuatro componentes claves según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático ((Brugère & De Young 2015)	
Figura 13	Modelo conceptual de la herramienta de evaluación híbrido de vulnerabilidad / riesgo propuesto por Scott y Colaboradores (2013).	
Figura 14	Plan de acción para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático para los sistemas portuarios en estudio. (2018)	
Figura 15	Modelo DPSIR para el modelo conceptual del sistema portuario y cómo impacta en las distintas zonas de un puerto. (2018)	
Figura 16	Nivel de impacto esperado originado por las presiones ambientales del Cambio Climático en cada zona de los sistemas portuarios estudiados.(2018)	

LISTA DE TABLAS

LISTA DE TABLAS		
Tabla 1	Asignación de puntaje por categorías a la probabilidad de ocurrencia. (Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia)(2017)	
Tabla 2	Matriz de asignación de puntajes de nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados.(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 3	Matriz de asignación de puntajes de nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados.(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 4	Matriz de asignación de puntajes de nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados.(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 5	Asignación de puntajes por categorías para la capacidad de adaptación. (Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 6	Matriz de asignación de puntajes de nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados.(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 7	Matriz de Tipología de Grado de Vulnerabilidad Climática Empresarial propuesto por el Ministerio	

	Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia) (2017)	
Tabla 8	Forzantes naturales y los respectivos impactos previstos en la actividad portuaria para las 3 regiones de influencias de los sistemas portuarios y sus intensidades (-=Nula, X= Baja, XX= Media, XXX= Relevantes) (2018)	
Tabla 9	Misión y visión disponibles en las respectivas páginas web institucionales de los distintos puertos presentes en las zonas de estudios. (2018)	
Tabla 10	Asignación de puntajes por categorías a las probabilidades de ocurrencia. (2018)	
Tabla 11	Matriz de asignación de puntajes de niveles de gravedad de las consecuencia frente a la ocurrencia de los impactos identificados para San Antonio (2018)	
Tabla 12	Matriz de asignación de puntaje de niveles de gravedad de la consecuencia frente a la ocurrencia de los impactos identificados para Quintero. (2018)	
Tabla 13	Asignación de puntajes por categorías para la capacidad de adaptación según grado de desarrollo de distintas categorías de análisis. (2018)	
Tabla 14	Acciones que permite gestionar la aplicación de la ISO 31.000 en una organización. En negrita se presentan aquellas acciones que se pueden vincular a los procesos de adaptación de cambio climático.	
Tabla 15	Compromisos que una organización debe considerar para generar un sistema de control de riesgos.	

GLOSARIO

Adaptabilidad: Un proceso de ajustes al clima y sus efectos actuales o esperados. En sistemas humanos, adaptación busca moderar o evitar impactos negativos o aprovechar los efectos beneficiosos. En algunos sistemas naturales, intervenciones del hombre podrían facilitar los ajustes al clima y sus efectos esperados. (IPCC 2013/14)

Acreción*: Crecimiento por adición de materia, como en los depósitos minerales o los continentes.

Cabotaje*: Navegación que hacen los buques entre los puertos de un mismo país sin apartarse de la costa.

Dragado*: Acción y efecto de dragar. Ahondar y limpiar con draga los puertos, los ríos, etc.

Deltas: Terreno comprendido entre los brazos de un río en su desembocadura.

Ecosistema*: Comunidad de los seres vivos cuyos procesos vitales se relacionan entre sí y se desarrollan en función de los factores físicos de un mismo ambiente.

Erosión*: Desgaste o destrucción producidos en la superficie de un cuerpo por la fricción continúa o violenta de otro.

Escorrentía*: Agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno.

Eslora*: Longitud que tiene la nave sobre la primera o principal cubierta desde el codaste a la roda por la parte de adentro.

Estequiometria*: Relación numérica entre las masas de los elementos que forman una sustancia RAE

Frente de ataque: Es la infraestructura de un puerto que corresponde a un módulo operacionalmente independiente con uno o varios sitios y sus correspondientes áreas de respaldo, cuya finalidad es el atraque de buques, esencialmente para operaciones”

Holístico*: Perteneciente o relativo al holismo.

Holismo*: **Doctrina que propugna la concepción de cada realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen.**

Holostérico*: barómetro.

ISO 31.000: Norma de estandarización que busca renovar y simplificar la gestión de los riesgos. (ISO 31.000)

Isostático: Definición de estructura isostática y conceptos relacionados. Estructura estáticamente determinada: Estructura que puede ser analizada mediante los principios de la estática; la supresión de cualquiera de sus ligaduras conduce al colapso. También llamada estructura isostática. ... También llamada estructura hiperestática. (Diccionario de Arquitectura y Construcción)

Pleamar*: Fin o Término de la creciente del Mar.

Resilencia: Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales para hacer frente a un evento o tendencia o perturbación peligrosa, respondiendo o reorganizándose de manera que mantengan su función esencial, la identidad y estructura, al tiempo que se mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación. (IPCC 2013/2014)

Servicios de Muelles: Es el servicio definido previamente que consiste en facilitar un sitio en los frentes de atraque del recinto portuario destinado a la atención de naves de carga, de pesca industrial, científicas, de turismo, embarcaciones menores, remolcadores y artefactos navales de cualquier índole.(Empresa EPA Austral- Magallanes)

Sinergia*: Acción de dos o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales.

Sistema de afloramiento*: Acción y efecto de aflorar (|| asomar a flor de tierra). Salir a la superficie.

Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente, comprendiendo una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación mientras que el riesgo es el potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto (IPCC 2014).

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático ya es un hecho cierto, es por ello, que traerá consecuencias para los puertos y las industrias costeras, pues son los principales afectados. De esta forma, los puertos están comenzando a implementar planes de acción para implementar medidas de adaptación y de esta forma reducir el impacto del cambio climático. Nuestro país, dada sus particularidades geográficas basa el intercambio comercial en función de su infraestructura portuaria, lo cual a originado que en la actualidad existan aproximadamente 56 puertos tanto de uso público, como de uso privado. De estos, solo en la región de Valparaíso, existe tres de los principales complejos portuarios del país: Quintero, Valparaíso y San Antonio, los cuales responden a las necesidades de importación y exportación de una economía altamente globalizada como es la Chilena.

Ante esto es imprescindible realizar distintos análisis que permitan evaluar el efecto que el Cambio Climático tendrá sobre la industria portuaria, identificando las forzantes, presiones e impactos, así como determinado el nivel de riesgo, adaptabilidad y vulnerabilidad de estos, para de esta manera planificar medidas que permita paliar en cierto grado los impactos que puede tener estos escenarios sobre la actividad portuaria.

Por consiguiente el presente trabajo intenta abordar estas preocupaciones mediante un enfoque de "riesgo / vulnerabilidad", identificando, mediante un modelo conceptual los componentes ambientales que afectan la operatividad portuaria, analizando cuales de estos componentes se verán alterados según las proyecciones realizadas para el país.

Para lograr esto, se sistematizó información existente y se realizó un modelo de Fuerza Motriz – Presión – Estado – Impacto – Respuesta (DPSIR por sus siglas en inglés) el cual se utiliza frecuentemente para evaluar y gestionar los problemas ambientales. Con esta información, se procedió a determinar los factores que podían generar impactos en el estado del sistema portuario, para lo cual se analizó la visión y misión de cada una de las empresas que conforman el sistema. Con esta información se determinó el índice de riesgo climático empresarial para cada una de los sistemas portuarios, la cual depende de la probabilidad de ocurrencia, las consecuencias esperadas y la capacidad adaptativa. A continuación, se determinó la Vulnerabilidad climática

empresarial la cual es el producto del Índice de Riesgo Climático por la Capacidad de Adaptación, la cual se determina en función de la existencia de variables transversales como normativas o políticas gubernamentales, la existencia de recursos económicos, aspectos relacionados a la infraestructuras y tecnología y aspectos relacionados a variables sociales.

Finalmente se procedió a identificar mecanismos que permitan abordar los impactos originados por el cambio climático, el cual estuvo enfocado en determinar lineamientos de gestión basados en el riesgo, para lo cual se evaluó un sistema de gestión de riesgos utilizado actualmente por una industria portuaria, y se intentó alinearlos con el estándar de gestión de riesgos propuesto por la norma ISO 31000.

Como resultados del presente trabajo podemos mencionar que la aplicación del modelo DPSIR permitió identificar que los principales impactos detectados en la actividad portuaria son aquellos relacionados con los cambios en la intensidad y dirección del oleaje, intensidad y duración de temporales y cambios nivel del mar. Sin embargo, el efecto de estas presiones varía en número y tipos de impactos registrados, en función de la zona de influencia del puerto. Mayor relevancia eso alcanza los aspectos relacionados con las Tormentas, proponiéndose que este es la principal presión que existe sobre el sistema portuario y debe ser analizado como forzante, para así guiar todos los aspectos relacionados con el mejoramiento de infraestructura y procesos a reducir el impacto que origina esta forzante.

En cuanto al impacto observado en ambas bahías por separado, se pudo determinar que en el caso de San Antonio, debido a la cercanía de este con la desembocadura del río Maipo, existe mayor probabilidad de impactos en la zona infraestructura auxiliar y acceso y redes de conexión con el interior, debido a que existe un mayor potencial de riesgo por inundación y cortes de camino.

En relación a la evaluación del riesgo se concluye que en el caso de San Antonio las consecuencias son mayores que en Quintero, clasificándose en un Nivel de Riesgo R3, para lo cual es recomendable evaluar acciones tendientes a minimizar el riesgo. Para el caso de Quintero, esta fue clasificado R2, nivel en el cual se recomienda realizar un seguimiento de las forzantes, pero aun no evaluar acciones hasta no tener mayor información.

En el presente estudio se determinó que tanto la adaptabilidad como la vulnerabilidad son más bien bajas. Esto parece ser contradictorio, sin embargo la adaptabilidad responde a la falta de herramientas económicas para abordar el tema, mientras que la vulnerabilidad es atribuida a al nivel de riesgo que las forzantes tienen sobre la operatividad.

En cuanto a los mecanismos que permiten abordar los impactos, se pudo determinar que estos podían ser divididos en dos aspectos, uno relacionado a la infraestructura y el segundo relacionado a los procesos, existiendo en la actualidad herramientas tecnológicas que permiten hacer frente al oleaje y el viento, los cuales se intensifican por efectos de las tormentas, siendo factible de aplicar en San Antonio y no así en Quintero. En cuanto a los procesos, existen herramientas vinculadas principalmente a la aplicación de la norma ISO 31000 la cual busca minimizar el riesgo en las operaciones. Finalmente, podemos mencionar que si bien ambos sistemas portuarios difieren en relación a diversos aspectos, es necesario que aborden aspectos relacionados al cambio climático con prontitud, pues de no hacerlo verán comprometida su competitividad, lo que impacta no solo en las operaciones de la industria, sino que puede afectar la actividad comercial del País.

ABSTRACT

Climate change is already a fact that is why it will have consequences for ports and coastal industries, as they are the main affected. In this way, the ports are beginning to implement action plans to implement adaptation measures and thus reduce the impact of climate change. Our country, given its geographical peculiarities, bases commercial exchange on the basis of its port infrastructure, which has led to the existence of approximately 56 ports, both for public use and for private use. Of these, only in the Valparaíso region, there are three of the main port complexes in the country: Quintero, Valparaíso and San Antonio, which respond to the import and export needs of a highly globalized economy such as Chile.

Given this, it is essential to carry out different analyzes to assess the effect that climate change will have on the port industry, identifying the forcing, pressures and impacts, as well as determining the level of risk, adaptability and vulnerability of these, in order to plan measures that allows to shovel to some degree the impact that these scenarios can have on port activity.

Therefore, the present work tries to address these concerns through a "risk / vulnerability" approach, identifying, through a conceptual model, the environmental components that affect port operability, analyzing which of these components will be altered according to the projections made for the country.

To achieve this, existing information was systematized and a model of Motive Force - Pressure - State - Impact - Response (DPSIR by its initials in English) was made, which is frequently used to evaluate and manage environmental problems. With this information, we proceeded to determine the factors that could generate impacts on the existence of the port system, for which the vision and mission of each of the companies that make up the system was analyzed. With this information, the business climate risk index for each of the port systems was determined, which depends on the probability of occurrence, the expected consequences and the adaptive capacity. Next, the Business Climate Vulnerability was determined, which is the product of the Climate Risk Index for Adaptation Capacity, which is determined based on the existence of transversal variables such as regulations or

government policies, the existence of economic resources, aspects related to infrastructure and technology and aspects related to social variables.

Finally, we proceeded to identify mechanisms to address the impacts caused by climate change, which was focused on determining management guidelines based on risk, for which a risk management system currently used by a port industry was evaluated, and an attempt was made to align it with the risk management standard proposed by the ISO 31000 standard.

As results of this work we can mention that the application of the DPSIR model allowed to identify that the main impacts detected in the port activity are those related to the changes in wave intensity and direction, intensity and duration of storms and changes in sea level. However, the effect of these pressures varies in number and types of impacts recorded, depending on the area of influence of the port. Greater relevance that reaches the aspects related to the Storms, proposing that this is the main pressure that exists on the port system and must be analyzed as a forcing, in order to guide all the aspects related to the improvement of infrastructure and processes to reduce the impact that originates this forcing. Regarding the impact observed in both bays separately, it could be determined that in the case of San Antonio, due to the proximity of this to the mouth of the Maipo river, there is a greater probability of impacts in the auxiliary infrastructure area and access and networks of connection with the interior, due to the fact that there is a greater risk potential due to flooding and road cuts.

In relation to the risk assessment, it is concluded that in the case of San Antonio, the consequences are greater than in Quintero, classified as Risk Level R3, for which it is advisable to evaluate actions tending to minimize the risk. In the case of Quintero, it was classified R2, at which level it is recommended to monitor the forcing, but not yet evaluate actions until no more information.

In the present study it was determined that both adaptability and vulnerability are rather low. This seems to be contradictory, however the adaptability responds to the lack of economic tools to address the issue, while the vulnerability is attributed to the level of risk that the forcing have on the operability.

Regarding the mechanisms that allow to address the impacts, it could be determined that these could be divided into two aspects, one related to the infrastructure and the second

related to the processes, existing at present technological tools that allow to deal with the waves and the wind, which are intensified by the effects of storms, being feasible to apply in San Antonio and not in Quintero. In terms of processes, there are tools mainly linked to the application of the ISO 31000 standard, which seeks to minimize the risk in operations.

Finally, we can mention that although both port systems differ in relation to various aspects, it is necessary that they address issues related to climate change promptly, because if they do not, their competitiveness will be compromised, which impacts not only the operations of the industry, but it can affect the commercial activity of the Country.

INTRODUCCIÓN.

El cambio climático es un problema que afecta la vida de todas las personas (IPCC 2007, Steffen 2009) y eventualmente afectará a numerosas actividades productivas que se desarrollan en distintos ambientes. Para enfrentar estas situaciones, las industrias necesitarán gestionar proactivamente, que tan vulnerable es su infraestructura y procesos, y deberán desarrollar e implementar medidas integradas de gestión y planificación, que mantengan bajo control los riesgos ambientales, tomando en cuenta la naturaleza multifacética del cambio climático.

Ante esto, el Panel Intergubernamental ante el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) define como vulnerabilidad a la propensión o predisposición a ser afectado negativamente, comprendiendo una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación; mientras que el riesgo es el potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto (IPCC, 2014).

Nuestro país, dada su extensión y su innegable relación con el borde costero, ha sido considerado a nivel mundial como un país altamente vulnerable al cambio climático, estimándose que las pérdidas ambientales, sociales y económicas en el país por este fenómeno podrían llegar a ser significativas (CONAMA 2008), afectando no sólo la infraestructura costera, sino que también la operación de puertos, caletas y playas (Winckler et al. 2009). De hecho, a nivel mundial distintos estudios que han evaluado la vulnerabilidad de las actividades industriales que se desarrollan en la zona costera, por ejemplo en un estudio realizado en 136 ciudades marítimas con más de 1 millón de personas, se constató que la mayoría de las ciudades evaluadas ya se encontraban expuestas a inundaciones costeras (Nicholls, Wong, et al. 2007), mientras que Becker y colaboradores (2012) sugieren que el cambio climático afectará desproporcionadamente a los puertos y las economías nacionales que están basadas en el desarrollo portuario, debido tanto al aumento en los costos de inversión asociados al mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura costera, como al incremento en las pérdidas económicas asociadas a la disminución de las actividades portuarias originadas por el cierre de puertos o al incremento de externalidades

ambientales relacionadas con el incremento de los eventos atmosféricos, como marejadas, temporales e incluso ciclones, llegando a poner en riesgo tanto las funciones y procesos de los ecosistemas costeros, así como la salud de los operarios y actividades antrópicas vinculadas al borde costero.

Por este motivo, los puertos que implementen medidas para adaptarse a las condiciones futuras del clima serán más competitivos en una economía que requiere de mayores movimientos de carga (Min. Ambiente - Invemar - Min. Transporte 2017).

Para lograr esta adaptabilidad, es necesario que la industria portuaria identifique el grado de vulnerabilidad en que se encuentra actualmente e iniciar los procesos de adaptabilidad ante escenarios de cambio climático.

Ante esto, existen distintas metodologías que incluyen dimensiones tanto sociales, (eg. Nicholls 1995; Adger y Kelly 1999; Nicholls et al. 2007), ambientales (eg. Williams et al., 2008) y económicos (eg. Nicholls et al. 2007; Hobday et al., 2008; Pecl et al. 2009; Hobday et al. 2011), las cuales en su mayoría reconocen algunas barreras que impiden la adaptación climática (Becker 2011) como por ejemplo la inconsistencia entre los plazos de planificación organizativa (5 - 15 años), los plazos de las proyecciones climáticas de 30 - 90 años y la incertidumbre de las proyecciones climáticas locales (Scott et al. 2013), para lo cual un enfoque híbrido de "riesgo / vulnerabilidad", parece ser una herramienta aconsejable para comprender y adaptar las actividades industriales costeras ante los escenarios de cambio climático.

Este enfoque utiliza las herramientas existentes en los estándares internacionales de control de riesgo, como es el caso de la ISO 31000 y los vincula con la vulnerabilidad, tratando de que las empresas puedan vincular la adaptabilidad a la gestión del riesgo, asegurando así el espíritu de mejoramiento continuo que inspira el proceso relacionado con las normas de este tipo.

Bajo una óptica similar, el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático, propone que las ciudades y regiones del país se adapten para cumplir con estos cambios, estableciendo que todas o la mayoría de las inversiones públicas, especialmente en infraestructura y equipamiento territorial, deberán incorporar el punto de vista del cambio climático para asegurar que sean capaces de tolerar posibles variaciones

climáticas que pueden limitar el uso y la durabilidad de los materiales utilizados (Cifuentes & Meza 2008), por lo que bajo este contexto, será necesario planificar tanto la infraestructura y la operatividad portuaria a nivel nacional.

Actualmente en Chile, existe un sistema portuario compuesto por 56 puertos tanto de uso público, como de uso privado. Los puertos de uso público (24) prestan los servicios de infraestructura (sitios de atraque, acopio, bodegaje) y servicios especializados (procesos de embarque, recepción, acopio, desacoplo de cargas, porteo, desembarco, descarga, agenciamiento y otros) a cualquier solicitante que los requiera, los cuales pueden ser de propiedad del Estado o de propiedad privada (Ministerio de Medioambiente 2014). En la región de Valparaíso, existe tres de los principales complejos portuarios del país: Quintero, Valparaíso y San Antonio, los cuales responden a las necesidades de importación y exportación de una economía altamente globalizada como es la Chilena.

Por consiguiente, al evaluar la vulnerabilidad al cambio climático para al menos dos de los principales recintos portuarios del país, se abre la posibilidad de iniciar dichos procesos en otros centros portuarios a lo largo del país, ayudando a la industria y al sistema productivo a lograr la anhelada adaptación ante las condiciones al cambio climático.

El presente trabajo busca generar un plan de adaptabilidad a condiciones del cambio climático para la industria portuaria de la Región de Valparaíso, para lo cual se pretende realizar un modelo de presiones e impactos asociados a las actividades portuarias, para determinar cuáles externalidades pueden incrementarse ante los escenarios de cambio climático, además de realizar una evaluación de vulnerabilidad y riesgo que permita una priorización de acciones que minimicen dichas externalidades, en dos puertos de importancia comercial de la región de Valparaíso, San Antonio por el sur y Quintero por el norte.

CAPITULO 1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA BAJO ESTUDIO.

1.1. Características Ambientales en que se encuentran los Sistemas Portuarios Sujetas a Estudio.

1.1.1. Zona Costera del Puerto San Antonio.

La zona costera del Puerto de San Antonio (**Figura 1**) se encuentra emplazada en la comuna que lleva su mismo nombre, la cual es parte de la Provincia de San Antonio, la cual limita por el norte con la provincia de Valparaíso, al este con Región Metropolitana de Santiago, al sur con la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y al oeste con Océano Pacifico. (EPSA, 2013).

La zona costera se caracteriza por ser somera (alrededor de 50 metros de profundidad) y se encuentra emplazada con dirección este-oeste, abierta hacia el sur con una profundidad de 110 m a 1,5 Km desde el molo de abrigo del puerto (EPSA, 2013), protegida de vientos de origen Norte, al pasar Punta Panul.

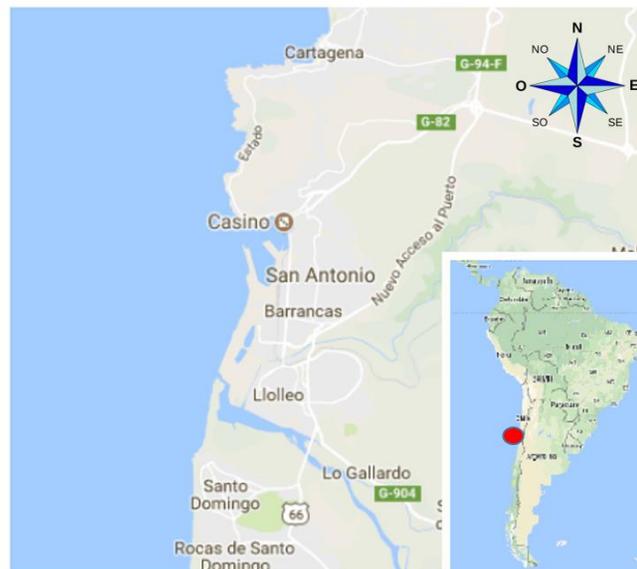


Figura 1. Ubicación geográfica de la zona costera del Puerto de San Antonio. (Elaboración propia 2018).

El Puerto de San Antonio se encuentra ubicado al norte de la desembocadura del Río Maipo, y se encuentra protegido por un molo de abrigo, lo cual brinda protección a la acción del oleaje y de las corrientes costeras, permitiendo que esta característica se mantenga durante la mayoría de los días del año (EPSA, 2013).

Tipológicamente su clima se encuentra influenciado por la circulación atmosférica de gran escala, la cual regula las condiciones climáticas, a través de la existencia de un centro de altas presiones, el cual permanece estacionariamente, lo que origina la existencia de un clima templado, sin grandes variaciones entre las distintas estaciones.

En cuanto a los vientos, durante gran parte del año la predominancia los vientos son de Suroeste, mientras que los días con presencia de neblinas, análisis climatológicos establecen que existe un promedio de 36 días al año, con un máximo de 6 días en el que la visibilidad se reduce a 1.000 metros. (EPSA, 2013).

En cuanto al régimen mareal, este presenta características mixtas, el cual es un estado intermedio entre un régimen semidiurno y diurno, lo que origina dos bajamares y dos pleamar, o viceversa, de intensidad desigual en las alturas de pleamares y bajamares (SHOA 2002). Información de mareas obtenidas en la estación mareográfica de la bahía reporta que el comportamiento de marea es regular, sin presencia de anomalías (EPSA, 2013).

1.1.2. Zona Bahía de Quintero.

La bahía de Quintero, se encuentra administrativamente ubicada entre las comunas de Quintero (por el sur) y Puchuncaví (por el norte), las cuales se encuentran en la zona centro norte de la región de Valparaíso.

Esta bahía se caracteriza por ser somera (alrededor de 40 metros de profundidad) y se encuentra emplazada con dirección norte-sur, en forma de herradura y abierta hacia el norte, condición que origina una escasa protección contra el oleaje y vientos que provienen de dicha dirección, y que son predominantes en épocas invernales (Contreras et al. 2013, Cárcamo et al. 2016). (**Figura 2**).



Figura 2. Ubicación geográfica de la bahía de Quintero. (Elaboración propia 2018).

En el extremo norte de la bahía, esporádicamente desembocan las aguas del estero Campiche, el que se conecta con una serie de humedales y pantanos que colindan con el barrio industrial de Quintero-Puchuncaví, originando cambios significativos en los parámetros físico-químicos de la columna de agua (Figueroa-Fábrega 2016).

Tipológicamente el clima de la bahía de Quintero ha sido clasificado como zona templada cálida, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno, y una estación seca de más de seis meses, que se inicia en primavera y termina en abril (Romo & Alveal 1977, Constanzo 1996) y presenta una elevada humedad relativa del aire (Hajek et al. 1966), la cual se explica por la influencia que ejerce el Océano Pacífico (Constanzo 1996).

Las oscilaciones térmicas, diarias y estacionales registradas son menores debido a la influencia moderadora del océano (Castro 1998). El promedio anual de la temperatura fue de 13,7°C, no superando los máximos absolutos de 23°C (Constanzo 1996).

En relación a la circulación de vientos locales, el patrón general de la zona mostró predominancia de vientos SW, mientras que la variabilidad diaria presentó una marcada componente de W y WSW, el cual se intensifica durante la época estival.

Los vientos máximos registrados fueron de 55 nudos y con procedencia sur y sudoeste principalmente los cuales son predominantes entre septiembre a marzo, y de componente norte los cuales ocurren entre otoño e invierno lo que ha sido asociado al mal tiempo y a la presencia de marejadas (Constanzo 1996, Castro 1998).

Oceanográficamente la bahía de Quintero es un cuerpo de agua semi-cerrado, abierto hacia el noroeste que se extiende entre la punta Liles por el sur y la punta Ventanillas por el norte. El área de la bahía es de 13.064.000 m² y contiene un volumen de agua aproximado de 271.720.000 m³ (Letelier & Pinilla, 2016).

El régimen de mareas predominante en la bahía fue del tipo mixto semi-diurno, es decir se presentan dos pleamares y dos bajamares en un día con amplitudes máximas de aproximadamente 1,88 m, cuyos efectos en la circulación general de la bahía son sólo percibidos en una franja costera de no más de 200 a 300 m de ancho (Oxiquím 2013).

Diversos estudios se han desarrollado para dilucidar el patrón de corrientes existentes en la bahía, sin embargo, el estudio más reciente realizado en la zona indica que el patrón de circulación presentó una clara variación estacional asociada a la acción del

viento local al interior de la bahía, no mostrando una asociación a las variaciones de la marea.

En relación al nivel del mar, se ha reportado que la zona está dominada por una marea semi-diurna mixta tal como en toda la costa Pacífico de Chile. Como la mayor parte de las componentes armónicas aportan al nivel del mar en forma significativa, es claro que al ingresar la onda de marea al interior de la bahía siente el fondo, incrementando la energía en las componentes armónicas de aguas someras (Letelier & Pinilla 2016).

1.2. Características de los Sistemas Portuarios Sujetas a Estudio.

1.2.1. Actividad Portuaria de San Antonio.

La Empresa Portuaria San Antonio (EPSA) es una empresa autónoma del Estado, creada por ley en diciembre de 1997 y cuyo objeto es la administración, conservación y desarrollo de la actividad marítimo-portuaria de Puerto San Antonio. Este puerto es uno de los puertos comerciales más importantes del País y se encuentra ubicado en la zona central del país, con un área de influencia que abarca la Región Metropolitana, gran parte de la parte de las regiones de Valparaíso y O'Higgins, alcanzando incluso zonas de las regiones Coquimbo y del Maule. A esta área total se debe agregar existe una alta proporción de cargas provenientes del sur de Chile, que son transbordadas en operaciones de cabotaje a servicios de Ultramar, las cuales se realizan en este puerto, para así alcanzar sus destinos internacionales. A esto se debe agregar el comercio internacional con Argentina, el que se realiza, en un 60%, a través de Puerto San Antonio.

La empresa es la administradora de tres terminales marítimos, además de seis parques industriales que hacen una superficie total de 800 hectáreas (**Figura 3**). El primer Terminal (sitios 1, 2, 3) forman el Terminal Internacional (STI) el cual es considerado como el terminal portuario más moderno y eficiente de Sudamérica.

Este terminal cuenta con la mayor dotación de grúas Gantry del país y de la costa oeste de Sudamérica, equipamiento que junto a los altos niveles de eficiencia que logran sus

operaciones, contribuyen a los altos rendimientos en transferencia de contenedores en esta parte del continente.

El segundo terminal (Sitios 4, 5, 6 y 7) se conoce como Puerto Central (PCE), el cual se encuentra concesionado para construir, desarrollar, mantener, reparar y explotar el frente de atraque Costanera-Espigón del Puerto de San Antonio.

El tercer terminal, denominado Puerto Panul (Sitio 8), es el mayor operador de gráneles sólidos cuya principal área de negocios es explotar el frente de atraque, donde se prestan los servicios de muellaje, transferencia de carga y otros servicios propios e inherentes a la actividad portuaria. Su sitio tiene un calado aproximado de 38 pies y las naves graneleras son atendidas por una grúa Level Luffing, que puede descargar 700 toneladas por hora. Existe un cuarto terminal denominado Sitio 9, el cual opera bajo un sistema multi-operado, administrado por EPSA, especializado en la transferencia de gráneles líquidos.

La empresa tiene como visión gestionar, como autoridad portuaria, el sistema logístico de San Antonio de manera integral y sostenible, mientras que su misión ha sido proyectada en que el puerto sea un referente de la industria en buenas prácticas portuarias tanto en capacidad de transferencia, calidad de servicio, sostenibilidad y aplicación de las mejores tecnologías.

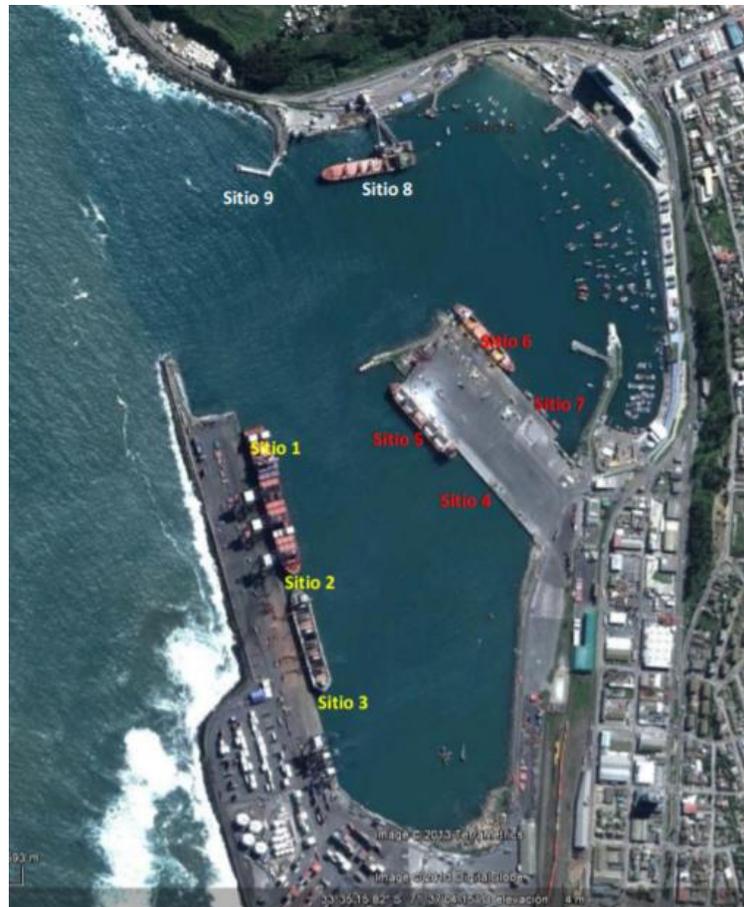


Figura 3. Distribución de los distintos terminales marítimos que componen el Puerto San Antonio. (Fuente Plan Maestro EPSA 2013).

La empresa cuenta con una Política de Sostenibilidad, cuyos principios incluyen Aspectos Normativos, Económicos, Bienestar Laboral, Desarrollo Local, Protección Ambiental e Innovación. Por este motivo la presente tesis será un recurso importante para el desarrollo de las actividades portuarias.

1.2.2. Actividad Portuaria en Quintero.

En los últimos 50 años, la bahía de Quintero se ha consolidado como una zona de múltiples usos, destacándose por las actividades industriales que en ella se han desarrollado, lo que la ha considerado como una de las zonas industriales más importantes del país (Vera et al. 2016). La multiplicidad de actividades como por ejemplo actividad portuaria (Operación del puerto de Ventanas y Quintero), actividad agrícola de pequeña escala, energética (centrales térmicas), actividad Industrial (Fundición de Cobre, Refinería de Petróleo, Industrias Químicas), Pesca y recolección de organismos bentónicos (Artesanal y presencia de áreas de manejo), hacen de esta zona un área sensible y vulnerable desde el punto de vista ambiental (Grawe 2016, Hormazabal 2016, Alfonso Aburto & Figueroa-Fábrega 2017).

En esta se encuentran diversos muelles de descarga los cuales difieren en su administración (**Figura 4**). El principal terminal marítimo de la zona es el de Puerto Ventanas S.A., ubicado en la Bahía de Quintero, comuna de Puchuncaví, se ha consolidado dentro de la industria portuaria como uno de los puertos graneleros más importantes del país, y de manera particular en la carga y descarga de gráneles sólidos y líquidos.

Cuenta con un sistema de muellaje integral y sistemas mecanizados de última generación para el almacenamiento y transferencia de carga. La visión de la empresa se ha definido para ser reconocida como la mejor empresa portuaria en servicios de calidad y sostenibles para la minería, energía e industria en Chile, mientras que su misión es contribuir al progreso sostenible de Chile y Latinoamérica, entregando servicios portuarios de calidad y seguros, generando valor y oportunidades de desarrollo a la comunidad, accionistas, proveedores y colaboradores, cuidando el medio ambiente.



Figura 4. Distribución de los distintos terminales marítimos presentes en la Bahía de Quintero (Fuente Elaboración Propia 2018).

Otro de los muelles existentes dentro de la bahía es GNL Quintero, el cual fue el primer Terminal de recepción, descarga, almacenamiento y regasificación de Gas Natural Licuado (GNL) del hemisferio sur. Cuenta además con tres tanques de almacenamiento en tierra, con una capacidad total de 334 mil metros cúbicos garantizan la continuidad del suministro y un tercer vaporizador de panel abierto, alcanzando una producción de 15 millones de metros cúbicos de gas natural por día. Su misión se enfoca en operar y desarrollar el Terminal de GNL para entregar un suministro confiable de gas natural, mediante una operación sostenible, segura y eficiente, agregando valor a accionistas, clientes, comunidades vecinas y medio ambiente, a través de un equipo de personas capacitadas, motivadas y comprometidas, mientras que su visión ha sido estipulada como ser reconocidos a nivel nacional y en la industria global del GNL por operaciones sostenibles y servicio de excelencia, la calidad y compromiso de sus empleados, sus

altos estándares éticos y de seguridad, la confiabilidad y eficiencia de sus operaciones, la innovación, y responsabilidad económica, social y medioambiental.

Finalmente, dentro de la bahía de Quintero existe un tercer muelle de importancia industrial que es conocido como Terminal marítimo ENAP Quintero, el cual cuenta con una Línea Submarina de 8 pulgadas de aproximadamente 500 metros de longitud y un fondeadero con capacidad para amarrar Buques Tanques de hasta 110 metros de eslora, 10 metros de calado y hasta 10.000 DWT, para operaciones de descarga o carga.

Esto hace que Quintero, sea considerada como un lugar de gran importancia económica, donde las actividades del complejo industrial han originado cambios significativos en la calidad de las aguas y sedimentos del ecosistema marino (Contreras et al. 2013, Parra et al. 2014, Hormazabal 2016, Vera et al. 2016).

CAPITULO 2. EL PROBLEMA, INVESTIGACION, ANALISIS Y OBJETIVOS.

2.1. Planteamiento de la Problemática.

Existe consenso a nivel científico que el clima global se verá alterado significativamente en el próximo siglo, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero (Enayatmehr & Azad 2015), y cuya manifestación repercutirá significativamente en los sistemas costeros (Nicholls, Wong, et al. 2007).

Ante esto se espera que a nivel regional exista un aumento en la frecuencia de eventos climáticos extremos (tormentas, marejadas, sequías extremas, etc.), a lo cual se debe agregar el aumento significativo del nivel del mar (Jadrijevic et al. 2014), lo que tendrá un efecto directo en las actividades y economías que se desarrollan en la zona costera (Becker et al. (2012).

Nuestro país, dada su extensión y su innegable relación con el borde costero, ha sido considerado a nivel mundial como un país altamente vulnerable al cambio climático, estimándose que las pérdidas ambientales, sociales y económicas en el país por este fenómeno podrían llegar a ser significativas (CONAMA 2008), afectando no sólo la infraestructura costera, sino que también la operación de puertos, caletas y playas (Winckler et al. 2009), estimándose una pérdida económica cercana al 1,1% PIB en el año 2100 bajo este concepto (Clim 2010).

Para combatir esto, las industrias necesitarán gestionar proactivamente las vulnerabilidades identificadas y desarrollar e implementar decisiones integradas de gestión y planificación que tengan en cuenta la naturaleza multifacética del cambio climático (Nursey-Bray et al. 2013). Es por este motivo que el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC), sostiene que en el corto plazo se hace necesario evaluar la vulnerabilidad de las actividades portuarias, para lo cual se reafirma la idea de identificar e implementar medidas de adaptación a los riesgos, considerando para esto los impactos actuales y previstos ante nuevos escenarios (División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

La evaluación de la vulnerabilidad puede ser utilizada para diversos fines, entre los que

se cuentan la planificación de medidas para la adaptación, la sensibilización sobre los riesgos y las oportunidades y el avance de la investigación científica (Patt et al., 2009). Lo que se intenta responder con una evaluación es la pregunta sobre ¿quién (o qué) es vulnerable a qué? (Brugère & De Young 2015).

Por este motivo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, sitúa la evaluación de la vulnerabilidad entre las primeras etapas del proceso de adaptación, y los métodos para evaluar rápidamente el riesgo, la exposición y la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático pueden respaldar la evaluación de riesgos clave (Edenhofer et al. 2014).

Por consiguiente el presente trabajo intenta abordar estas preocupaciones mediante un enfoque de "riesgo / vulnerabilidad", identificando, mediante un modelo conceptual los componentes ambientales que afectan la operatividad portuaria, analizando cuales de estos componentes se verán alterados según las proyecciones realizadas para el país y determinando los mecanismos que permitan abordar los impactos originados por el cambio climático.

2.2. Objetivos.

2.2.1. Objetivo General.

Evaluar la vulnerabilidad del sistema portuaria de la región de Valparaíso, ante la acción de forzantes ambientales vinculadas a condiciones de cambio climático, identificando además las mejoras que aseguren la adaptabilidad en función del control del riesgo.

2.2.2. Objetivo Específicos.

2.2.2.1. Confeccionar un modelo DPSIR para identificar las presiones a las que están expuestos los sistemas portuarios en estudio, ante escenarios de Cambio Climático.

2.2.2.2. Realizar una evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo ante escenarios de Cambio Climático de la infraestructura y procesos de los sistemas portuarios en estudio.

2.2.2.3. Identificar mecanismos que permitan abordar los impactos originados por el cambio climático.

CAPITULO 3. DIAGNOSTICOS DE ANTECEDENTES.

3.1. Escenarios actuales y futuros ante condiciones de cambio climático.

3.1.1. Orígenes y efectos relacionados al Cambio Climático a nivel internacional.

El crecimiento mundial, económico y demográfico ha sido vinculado como el principal promotor del aumento de emisiones de CO₂ presentes en la atmosfera, las cuales derivan directamente de la combustión de combustibles fósiles.

En los últimos 40 años las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han tenido un incremento significativo, a pesar de un número creciente de políticas de mitigación que buscan disminuir la generación de dichos gases. Por ejemplo, y solo para el caso del CO₂ las emisiones atmosféricas de origen antropogénico acumuladas entre 1750 y el 2011 fueron de 2040 ± 310 GtCO₂ (**Figura 5**).

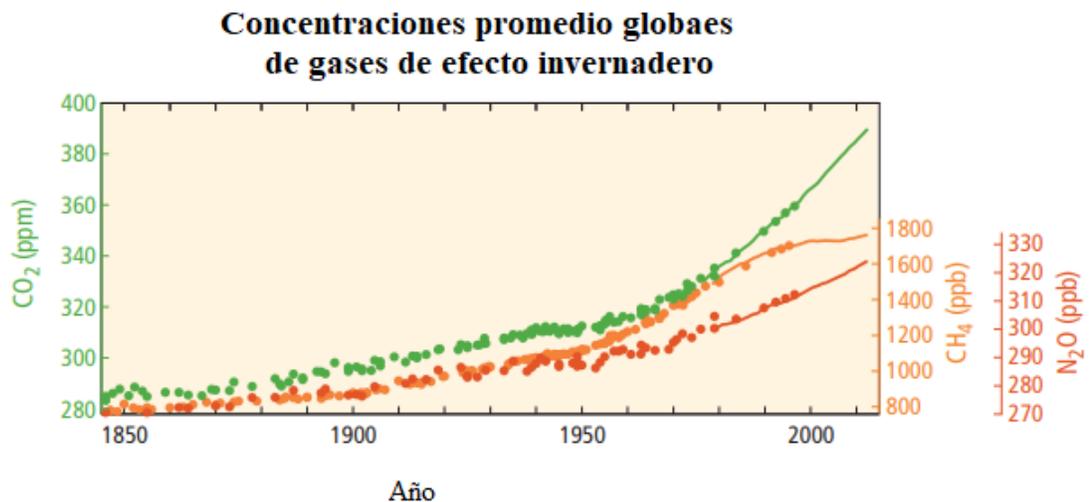


Figura 5. Concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero dióxido de carbono (CO₂, verde), metano (CH₄, naranja) y óxido nitroso (N₂O, rojo) determinados a partir de cores de hielo (puntos) y de mediciones atmosféricas directas (líneas). (Modificado de IPCC, 2014).

La presencia de dichos gases en la atmosfera ha sido sindicada como la principal causa del incremento de la temperatura atmosférica, tanto en términos de superficie como de altura. De acuerdo al último informe del IPCC, en las últimas tres décadas la superficie de la Tierra ha sido más cálida si se compara con cualquier década anterior desde 1850, observándose un incremento de $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65$ a $1,06$) $^{\circ}\text{C}$ (**Figura 6**).

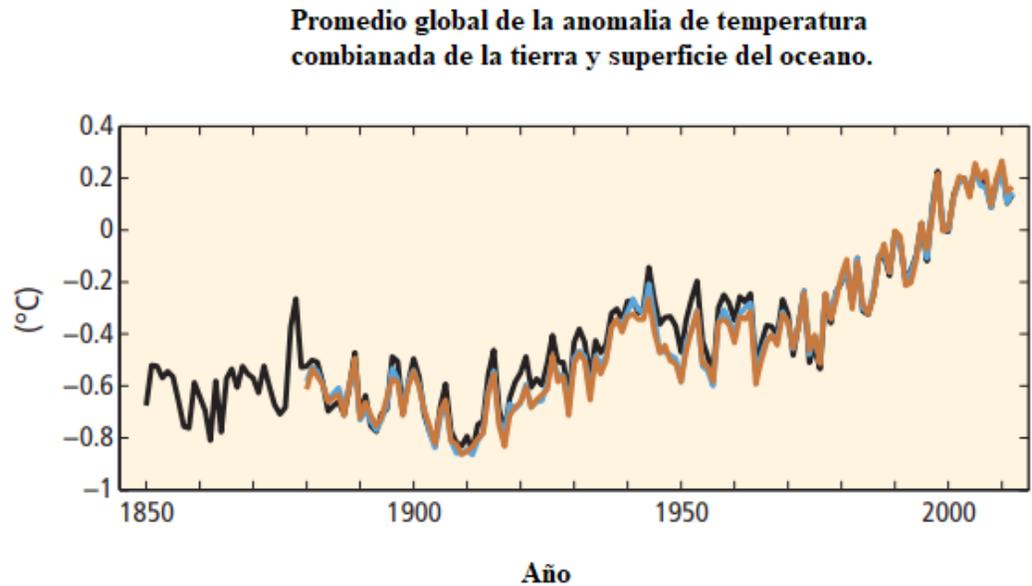


Figura 6. Anomalía de temperatura combinada de la superficie terrestre y oceánica en relación con el promedio durante el período de 1986 a 2005. Los colores indican diferentes conjuntos de datos. (Modificado de IPCC, 2014).

El incremento de temperatura también afecta la extensión y duración de la cobertura de nieve. Entre 1992 al 2011, las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida han disminuido en masa, y se ha reportado una disminución significativa de los glaciares en casi todo el mundo. En cuanto a la extensión media anual del hielo marino se ha observado una drástica disminución en el Ártico, a una tasa en el rango de 3,5 a 4,1% por década, mientras que la extensión media anual del hielo marino Antártico ha aumentado en el rango de 1,2 a 1,8% por década entre 1979 y 2012 (Organización de las Naciones Unidas 2015).

Este constante derretimiento de hielo, en particular en el hemisferio norte, ha originado un aumento constante en el nivel medio del mar. Durante el período 1901 al 2010, se ha reportado un aumento en promedio de 0,19 (0,17 a 0,21) m, (**Figura 7**).

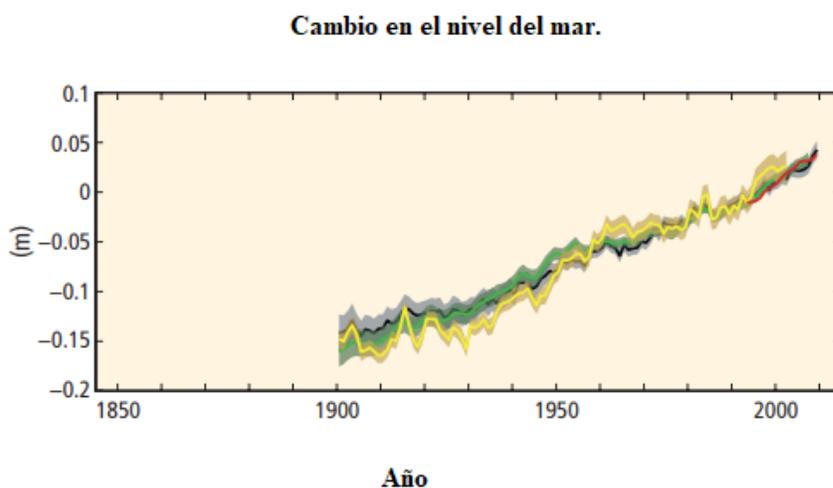


Figura 7. Cambio promedio anual y global del nivel del mar en relación con el promedio durante el período de 1986 a 2005 en el conjunto de datos de mayor duración. Los colores indican diferentes conjuntos de datos. (Modificado de IPCC, 2014).

Adicionalmente, se ha observado un incremento en la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, lo que sugiere alteraciones en el equilibrio del ciclo hidrológico a nivel mundial producto del aumento de temperatura. Una medida indirecta de esto, son los cambios en la salinidad de la superficie del océano, donde se ha visto que aquellas zonas donde predomina la evaporación se han vuelto más salinas, mientras que las regiones de baja salinidad donde predomina la precipitación o el derretimiento se han vuelto menos salobres desde la década de 1950 (Organización de las Naciones Unidas 2015).

Por otra parte, se estima que del 100% de la concentración del CO₂ liberado en la atmósfera, un 30% ha sido absorbido por el océano, provocando un desequilibrio en la relación estequiometría de los océanos, lo que se traduce en su acidificación. En este

sentido el pH del agua superficial del océano, ha disminuido en 0.1, lo que corresponde a un aumento del 26% en la acidez del océano (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS 2015).

La sinergia de todos estos fenómenos que se originan por el cambio climático, tienen su máxima expresión en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración y momento esperado de fenómenos extremos meteorológicos y climáticos, y puede resultar en un clima extremo sin precedentes. Ejemplo de estos cambios son el incremento de la velocidad del viento en ciclones, el aumento en la frecuencia y en la intensidad de huracanes e inundaciones locales, la constatación de sequías más prolongadas y de fenómenos más extremos del Niño y la Niña, entre otros (Vicuña et al. 2013).

La evaluación de los efectos de estos eventos en escenarios locales, exige mayor información y conocimiento sobre el sistema océano-atmósfera a nivel regional y local, así como el desarrollo y la aplicación de modelos que permitan establecer escenarios con alta confianza de ocurrencia (Yáñez et al. 2017). A continuación se detallan algunos de estos escenarios que tienen mayor relevancia en las actividades portuarias.

3.1.2. Escenarios proyectados del Cambio Climático a nivel nacional.

Chile, de acuerdo con los criterios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, es altamente vulnerable al cambio climático (Yáñez et al. 2018). De hecho, distintos escenarios proyectados muestran aumentos importantes de la temperatura para todo el país, con proyecciones para fines del siglo XXI de 3 a 4°C en los modelos extremos y de 2 a 3°C en los escenarios moderados, siendo estos aumentos extremadamente marcados en la zona precordillerana, lejos de la influencia regulatoria del océano Pacífico (Vicuña et al. 2013).

En cuanto a las precipitaciones, se espera que a finales del siglo XXI, exista un aumento de estas en el extremo austral, mientras que los modelos sugieren una disminución de las mismas en la zona comprendida entre Antofagasta y Los Lagos (Vicuña et al. 2013) (**Figura 8**).

A pesar de esta reducción en las precipitaciones, todo hace suponer que esta tendencia se dé solo asociado a los montos medios de las precipitaciones, mientras que la ocurrencia de tormentas cálidas se incrementaría en frecuencia, aumentando el riesgo de crecidas de ríos y cursos de aguas, y la subsecuente carga de sedimentos en los cauces (Vicuña et al. 2013).

El aumento de la escorrentía en los eventos extremos, no solo es el resultado ante eventos de precipitación líquida, sino que también puede tener su origen en el derretimiento del manto nival, generando anegamientos e inundaciones que dañan la infraestructura en general (Vicuña et al. 2013).

A nivel oceánico, los problemas derivados de las variaciones en la temperatura y en el nivel del mar, así como el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, tales como marejadas, precipitaciones y El Niño-Oscilación Sur (ENSO), tendrán un impacto directo sobre la infraestructura de apoyo para las actividades costeras (Yáñez et al 2018), originando que los mayores peligros proyectados se concentren en las zonas costeras (Monsalves-Gavilan et al. 2013).

Por estos motivos el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático propone que las ciudades y regiones necesariamente deberán adaptarse para minimizar los impactos que se originen por las acciones vinculadas al cambio climático, buscando establecer que las inversiones públicas, especialmente en infraestructura y equipamiento territorial, deberán incorporar el punto de vista del cambio climático para asegurar que sean capaces de tolerar estas variaciones climáticas (Cifuentes y Meza, 2008).

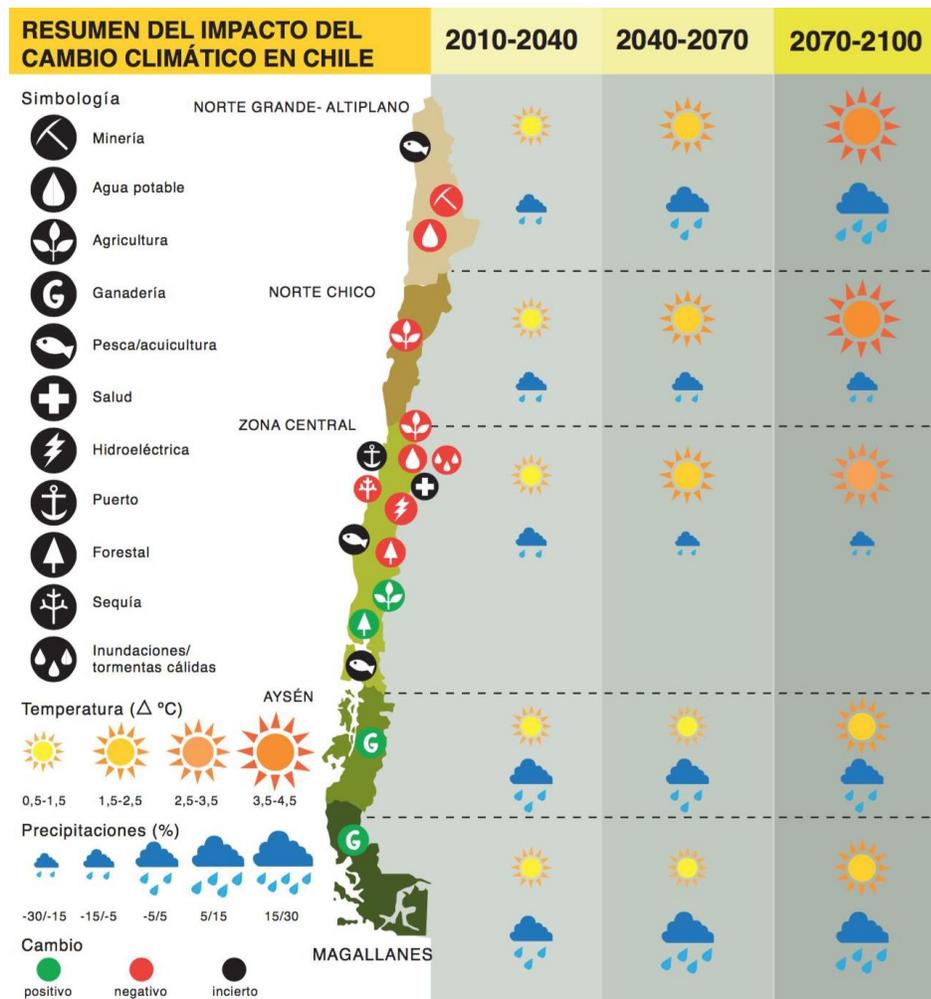


Figura 8. Representación esquemática de los impactos del cambio climático proyectados para Chile. Se indican impactos sectoriales y proyecciones climáticas (para el escenario). Con respecto a los impactos sectoriales se consideran dos alternativas: colores rojos y verdes implican impactos negativos y positivos respectivamente; mientras que el negro implica la necesidad de mayor conocimiento (Tomado de CEPAL 2012).

3.2. Modelo operativos del sistema portuario.

Si bien es cierto existen distintos tipos y actividades que pueden diferenciar a los sistemas portuarios, la función de estos básicamente continua siendo la misma y no es otra que actuar como intercambiadores entre los modos de transporte marítimo y terrestre, agregándose una serie de centros logísticos de transporte intermodal en los que se realizan muchas otras actividades de valor agregado (Gomis & Álvarez 2016). Por consiguiente, es posible establecer un modelo conceptual de un puerto, en función de las distintas operaciones que en él se desarrollen.

Como primera aproximación al modelo conceptual de operaciones de un puerto debemos considerar que existen tres regiones diferenciadas en el funcionamiento de un puerto (**Figura 9**). El primero de ellos es el Sistema Externo al Puerto, en el cual residen las condiciones demanda y oferta que rigen al mercado y que determinan el flujo de mercaderías, su tipo, etc. La segunda región corresponde al puerto como tal, el cual incluye infraestructuras de protección, operaciones y transporte y los procesos que en él se desarrollan. Finalmente una tercera región que involucra al área de influencia del puerto, y que incluye tanto las condiciones de mercado que definen la demanda y oferta así como las infraestructuras para el transporte de las mercancías (Gomis & Álvarez 2016, Lee & Dongjoo 2016).

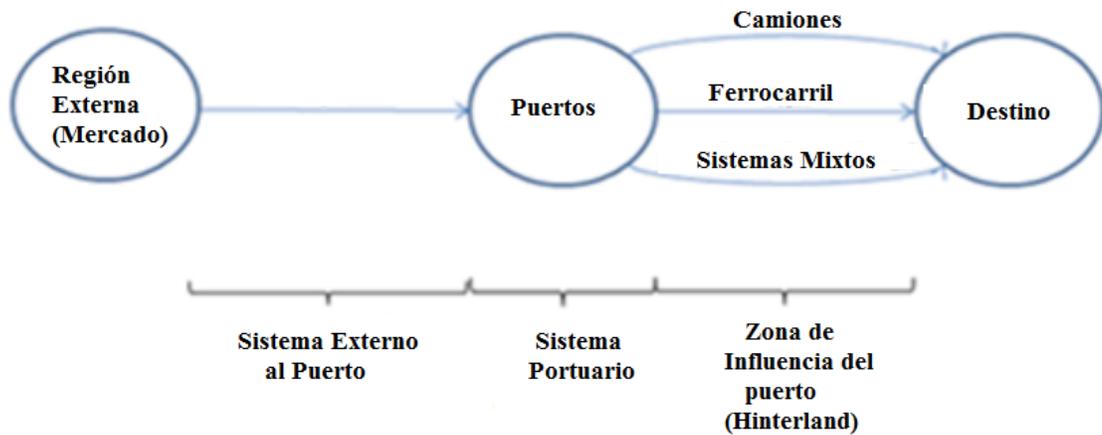


Figura 9. Modelo de las tres regiones que definen al sistema portuario según Gomis & Álvarez 2016, Lee & Dongjoo 2016. (Modificado de Lee & Dongjoo 2016).

En la región definida como Puerto, se pueden identificar una serie de zonas internas, las cuales pueden ir cambiando según las características particulares de cada puerto. De manera general y siguiendo los conceptos propuestos por Lozada y colaboradores (2013) podemos identificar las siguientes zonas (**Figura 10**):

- 1). Zona de navegación exterior y zona de espera, la cual puede incluir además infraestructuras de protección (por ejemplo, diques de abrigo).
- 2). Zona de atraque y navegación interior.
- 2). Zona de gestión de la carga (carga/descarga) y de movimiento de vehículos en el interior del puerto.
- 3). Zona de almacenamiento y/o procesado de mercancía.
- 4). Zona de infraestructura auxiliar, edificios y equipos.
- 5). Zona de accesos y redes de conexión con el hinterland.

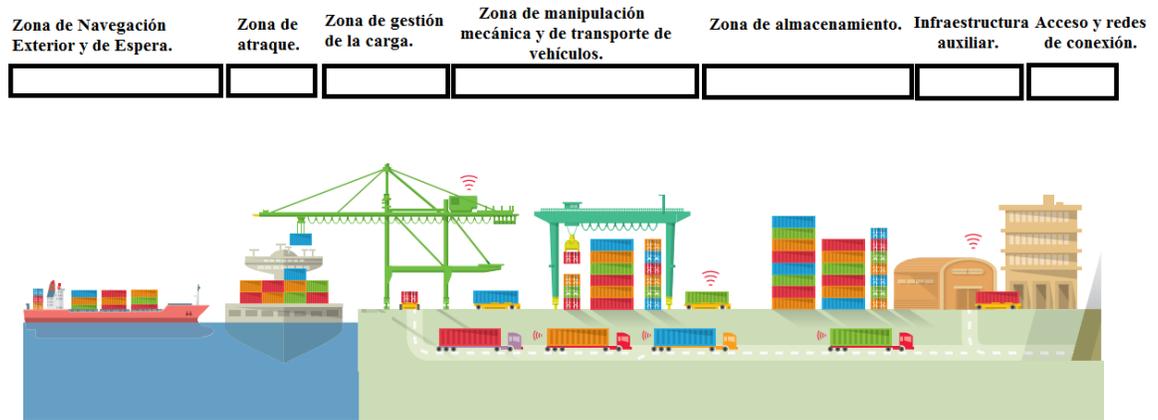


Figura 10. Modelo operativo y zonificación del sistema portuario en base a lo sugerido por Lozada et al. (2013).

Esta definición de regiones de influencia y zonificación de la operatividad de un sistema portuario permite delimitar las áreas de influencia que pueden tener las distintas presiones ambientales, y que podrían incrementarse con el cambio climático, las cuales a su vez pueden transformarse en externalidades que la industria deberán manejar y mitigar para el cumplimiento de las resoluciones de calificación ambiental que por ley están llamadas a cumplir.

3.3. Modelos Conceptuales en Estudios Ecosistémicos.

El principal atributo que debe contener un estudio de los ecosistemas, cualquiera sea este, es la representación fiel de la naturaleza holística del sistema, centrandose su esfuerzo en describir totalidades y no particularidades (Bertalanffy 1993). Por consiguiente, para acercarse a comprender un ecosistema, es necesario analizar, comprender y explicar, tanto las unidades funcionales y auto organizadas de un sistema, y las interacciones que existen entre ellas (Delgado et al. 2008).

Esta situación provoca que el estudio de los sistemas integrados sea considerado altamente complejo, y su conocimiento no puede derivarse solo de estudios observacionales o experimentales, los cuales son influenciados por la perspectiva desde

la cual fue vista la realidad (Delgado et al. 2008, Laboratorio de Modelación Ecológica 2016).

Durante años se han diseñado herramientas que intentan integrar las distintas visiones que existen de un mismo sistema, desafío que no ha sido menor si se considera la falta de conocimiento que existe de los componentes de los ecosistemas, los roles que estos juegan en el mismo, y como estos interactúan a las diversas presiones, tanto de origen natural como antrópico, las cuales suelen ser sinérgicas y multidireccionales (Cook et al. 2014).

Ante esto, se hace necesario identificar y sintetizar el conocimiento que se tiene del mismo, de tal manera que permita tener una visión unificada del funcionamiento del mismo, pero, por sobre todo, que permita identificar las lagunas de conocimiento que existen del mismo. Una herramienta altamente utilizada para lograr una aproximación a estas temáticas ha sido la generación de modelos o esquemas teóricos, que permiten comprender el comportamiento del sistema ante un evento perturbador (Joop et al. 2011), integrando la información de manera sistemática y eficiente, que ayude a mejorar la gestión y gobernabilidad de ambientes altamente intervenidos (Adger et al. 2005, Duarte et al. 2008, Barbier 2014).

Estos modelos deben ser tomados como mapas o diagramas de flujo que ayudan a navegar una progresión del pensamiento científico que comienza con la determinación de componentes ecológicos claves y termina con un resumen de los mecanismos para las influencias causales y las relaciones entre ellos, identificando atributos importantes que proporcionan información sobre múltiples aspectos del estado del ecosistema y que son necesarios monitorear para determinar el estado de un ecosistema (Lookingbill et al. 2007, Pocock et al. 2015). Esto proporciona una estructura para diseñar programas de monitoreo, interpretar los resultados del mismo y vincularlos con otras fuentes de información, así como evaluar la exactitud de nuestra comprensión de las funciones y procesos del ecosistema (Miller & Woodward 1999).

Los Modelos Conceptuales Ecosistémicos son herramientas de planificación no cuantitativos (Ogden et al. 2005) que reúnen y sintetizan la información de muchas áreas (Elliott 2002), priorizando elementos claves a través de una organización claramente estructurada de los indicadores ambientales (Niemeijer & Groot 2008).

Estos indicadores son parámetros cualitativos o cuantitativos que caracterizan la condición actual de un elemento del entorno o su cambio en el tiempo (Mateus & Campusano 2008) y deben cumplir dos principios (OCDE 1993):

- Reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requerirían para dar una presentación "exacta" de una situación.
- Simplificar el proceso de comunicación mediante el cual se proporciona al usuario la información de resultados de medición.

Existen varios marcos alrededor de los cuales se pueden desarrollar y organizar indicadores, cuya variedad se debe al cambio que sufren con el tiempo producto del aumento de la comprensión científica de los problemas ambientales, así como de la evolución de los valores de la sociedad (Niemeijer & De-Groot 2008). Sin embargo, todos tienen el mismo objetivo, ser el principal vínculo de comunicación, planificación y evaluación entre los científicos y los responsables de la formulación de políticas ambientales (Ogden et al. 2005).

Para esto, la aplicación del modelo Fuerza Motriz – Presión – Estado – Impacto – Respuesta (DPSIR por sus siglas en inglés) (**Figura 11**) ha probado ser una herramienta eficiente para la identificación del vínculo entre las relaciones causa-efecto de una problemática ambiental (Cook 2014, Semeoshenkova et al. 2016), transformándose en protocolo para organizar, comunicar y afrontar problemas ambientales complejos (Bradley & Yee 2015).

El marco DPSIR se utiliza frecuentemente para evaluar y gestionar los problemas ambientales. El modelo en cuestión intenta explicar las relaciones de la sociedad y su entorno, considerando que, las tendencias sectoriales, provocan presiones que modifican el estado en que se encuentra el ambiente (Polanco 2006, Baldwin et al. 2016).

El desarrollo de este modelo implica identificar 5 categorías las cuales son (**Figura 11**):

- 1) “Fuerza Motriz o Conductores”, son descripciones cualitativas (Altman et al. 2011) de acciones o procesos biofísicos, humanos e institucionales (Nuttle &

Fletcher 2013). Por lo general se relacionan con los factores que motivan las actividades humanas (Kelble et al. 2013; Bradley & Yee 2015) y con menor frecuencia con factores naturales (Martins et al. 2012).

- 2) “Presiones” en la cual se identifican los factores que están produciendo cambios en el medio ambiente; son los medios a través de los cuales las fuerzas motrices interfieren y perturban el sistema (Mateus & Campuzano 2008). Es decir, son los mecanismos físicos, químicos y biológicos que causan el cambio en el ecosistema (Cook et al. 2013; Kelble et al. 2013).
- 3) “Estado” o situación en la que se encuentra el ecosistema; representa los cambios observables en las dinámicas ambientales y en las funciones que describen el desarrollo sostenible (Bowen & Riley 2003). Se refiere a la condición en la que se encuentra los atributos físicos (ej. temperatura), químicos (ej. concentración de CO₂) y biológicos (ej. población de peces) en una zona (Smeets & Weterings 1999), los cuales son mensurables y se utilizan para evaluar el ecosistema.
- 4) “Impactos” donde se evalúa cual fue la influencia de que estos cambios tuvieron en el ambiente; normalmente son las repercusiones negativas de los cambios de estado en los individuos, sociedad y/o recursos naturales (Smeets & Weterings 1999; Altman et al. 2011) que influyen en la producción de bienes y servicios y en última instancia al bienestar humano (Carr et al. 2007; Bradley & Yee 2015).
- 5) “Respuestas” o soluciones, las cuales puedan mitigar y/o reparar el daño causado al sistema (Baldwin et al. 2016, Semeoshenkova et al. 2016). Se describen como las acciones tomadas por la sociedad para intentar revertir el estado derivado del efecto de las presiones (Polanco 2006). Estas medidas pueden ser preventivas, correctivas, adaptativas, compensatorias o mitigadoras, pudiendo actuar en cualquiera de los cuatro indicadores anteriores (Bowen & Riley 2003; Atkins et al. 2011; Bradley & Yee 2015).

El objetivo de este tipo de modelos ha fluctuado a describir cómo funciona y se generan los servicios del ecosistema que benefician el bienestar humano (Kelble et al. 2013), información que es crucial para las entidades que toman decisiones en la gestión de un ecosistema.

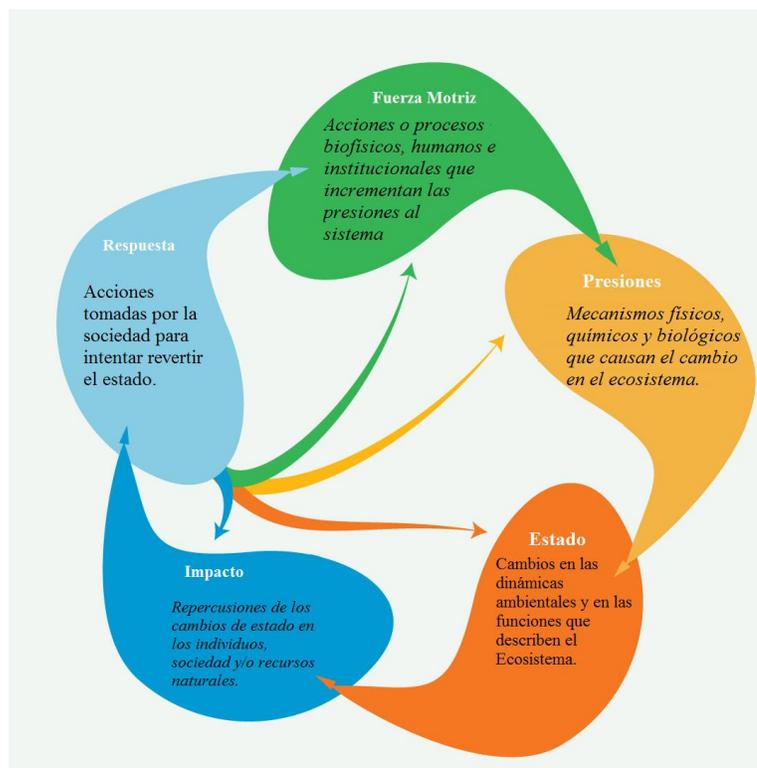


Figura 11. Diagrama de los distintos niveles que componen los Modelos Conceptuales Ecosistémicos DPSIR. (Modificado de World Ocean Assessment Overview, 2002).

Por consiguiente, el presente trabajo está enfocado en dos aspectos centrales y que son sistematizar la información que ayude a comprender los componentes de los sistemas ambientales de ambas Bahías e identificar las presiones que origina el Cambio Climático sobre las actividades portuarias que en ella se desarrollan. Esto como base fundamental para iniciar un proceso de evaluación de la vulnerabilidad y cambiar hacia la adaptabilidad al cambio climático.

3.4. Forzantes climáticos que pueden afectar la actividad portuaria.

El cambio climático y la variabilidad temporal a diferentes escalas, han tenido un alto impacto en la zona costera (Nicholls, Burkett, et al. 2007), por lo que es previsible que en el futuro se originen efectos negativos en los bienes e infraestructuras que existen en la zona costera.

En el “Marco Estratégico Para La Adaptación del Cambio Climático” en Chile, se menciona que los principales forzantes climáticos que afectarían la actividad portuaria serían el ascenso del nivel del mar, niveles de marea extremos, aumento de vientos costeros y el incremento en el oleaje (Lozada et al. 2013). Estas forzantes por lo general son los principales promotores de impactos en actividades portuarias a nivel mundial, por ejemplo en España una encuesta realizada a 27 autoridades portuarias determinó que el nivel del mar (inundaciones, escasez por nivel bajo del mar y ondas largas producida por oleaje), el oleaje (oleaje en la bocana y exterior, rebase, agitación interior), el viento, la lluvia y cambios de temperatura han sido los parámetros que más riesgo de paralización de la actividad portuaria provocan (Gomis & Álvarez, 2016).

Sin embargo, otros riesgos resultan más difíciles de analizar y establecer, debido a que son resultado de la interacción entre el clima y su variabilidad, y factores sociales y económicos (por ejemplo, impactos potenciales del cambio climático en la economía global y consecuencias para el comercio y los puertos) (Lozada et al 2013). Algunos de los riesgos esperables en el sistema portuario están asociados a las fases de diseño y operaciones del puerto, especialmente aquellos inducidos por drivers climáticos (por ejemplo, ascenso del nivel del mar, niveles extremos u oleaje). Sin embargo, otros riesgos resultan más difíciles de analizar y establecer, debido a que son resultado de la interacción entre el clima y su variabilidad, y factores sociales y económicos (por ejemplo, impactos potenciales del cambio climático en la economía global y consecuencias para el comercio y los puertos).

A continuación se detallan los principales agentes forzantes que influyen en las distintas

3.4.1. Aumento del nivel del mar.

En general, el aumento del nivel del mar en un área específica, aumenta la complejidad de proyectar la ubicación de ciertas infraestructuras (Boyer et al. 2012), lo cual puede tener su origen en la interacción de dos componentes que originan este fenómeno en una escala planetaria y que son la expansión térmica y la pérdida de hielo en la tierra (Boyer et al. 2012).

La primera se refiere al aumento del nivel del mar debido a la expansión del agua del océano a medida que aumenta la temperatura y el cual es un efecto directo del aumento de la temperatura a nivel global, mientras que la segunda (ie. pérdida de hielo de la tierra) se origina por el aumento en los volúmenes de agua que llegan al océano (Albrech & Gary, 2016).

Sin embargo, se ha visto que el cambio en el nivel del mar no es uniforme en todo el mundo, y varía regionalmente debido a varios factores, siendo uno de estos el efecto holostérico del océano y que se relaciona con la capacidad que tienen los cambios de salinidad de los cuerpos de agua para generar cambios en la densidad del mar (Waelbroeck et al. 2002), lo cual contribuye significativamente al cambio en el nivel del mar a escala regional (Albrecht & Shaffer 2016).

Adicionalmente, en algunos lugares específicos (por ejemplo canales y fiordos australes) el ajuste isostático glacial también repercute en el nivel del mar a escala local. Este fenómeno ocurre por cambios en la forma de las cuencas oceánicas debido al derretimiento del hielo, el cual se origina debido a que al disminuir el peso del hielo, la tierra vuelve a su posición anterior y mitigando en cierta medida los incrementos del nivel del mar en dichas zonas (Waelbroeck et al. 2002).

Finalmente otro factor relevante tiene que ver con los movimientos derivados del movimiento originado por la tectónica de placas, sin embargo a nivel nacional, las variaciones observadas como consecuencia de los terremotos suelen ser bajas a pesar de los constantes movimientos telúricos que acontecen en nuestras costas (ver por ejemplo (Vargas et al. 2011).

3.4.2. Efectos originados por el oleaje.

Sin embargo, desde el punto de vista del clima de oleaje, sí parecieran existir tendencias al aumento significativo de alturas de oleaje y cambios en la dirección de incidencia (Molina et al., 2011). La influencia del fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) es evidente y podría estar determinando las variaciones del nivel del mar, así como la intensidad y la frecuencia de marejadas. Ciertas hipótesis postulan que el calentamiento global afectaría la magnitud y frecuencia del fenómeno ENOS, por lo cual indirectamente se podría esperar que la intensidad de los eventos extremos costeros también aumente. Estudios desarrollados por CEPAL (2011) señalan que los escenarios futuros de climas de oleaje medio mensual en la costa del Pacífico de América del Sur mostrarían una tendencia al aumento. Para el extremo sur de Chile, este aumento podría llegar a 1 cm/año, mientras que en las costas norte y centro - sur de Chile estas variaciones serían menores, del orden de 2 a 3 mm/año.

3.4.3. Efectos originados por el viento.

El régimen general de los vientos en Chile es regulado por dos tipos de circulación: la anticiclónica, originada en el margen oriental del anticiclón del Pacífico, y la ciclónica, que se deriva de las depresiones migratorias que chocan con el litoral central y sur (Garreaud 2011) y cuyo predominio varía con las estaciones del año (Hajek et al. 1966).

En la zona costera de la Región de Valparaíso tienen especial relevancia los vientos sureste, los cuales soplan durante las estaciones de primavera y verano.

Sus manifestaciones reciben el nombre de “surazos”, y alcanzan ocasionalmente hasta 30 o 35 nudos y de manera excepcional hasta 40 nudos.

En general los vientos extremos limitan ocasionalmente el acceso de determinados tipos de buques al puerto y sus maniobras de atraque y desatraque en pantalanes (Gomis & Álvarez 2016). Los vientos extremos también dificultan la operativa de

carga y descarga de determinadas mercancías. En el caso de contenedores, pueden obligar a paralizar el servicio de grúas portuarias o a limitar la altura de su apilamiento. Dada las condiciones de incremento de tormentas, es esperable que este sea un factor relevante en las condiciones de cambio climático en la zona costera (Yáñez et al. 2017).

3.4.4. Efectos originados por precipitaciones fuertes en cortos periodos de tiempo.

El aumento de la temperatura superficial de la tierra implica una mayor evaporación y mayor cantidad de agua en la atmósfera. Los modelos de circulación general (MCG) proyectan un aumento de la precipitación en latitudes altas, aunque la magnitud de este incremento varía según el modelo, y una disminución de la precipitación en numerosas áreas subtropicales y de latitudes medias, en ambos hemisferios (Parry et al., 2007).

Las proyecciones indican que durante los próximos decenios la precipitación tenderá a concentrarse en episodios más intensos, separados por períodos más prolongados de precipitación escasa. El uso de modelos regionales para analizar las proyecciones es esencial.

3.4.5. Efectos originados por presencia de niebla.

La niebla es un fenómeno que consiste en una agregación de gotas de agua o cristales de hielo suspendidos en el aire sobre la superficie de la tierra, que producen la reducción de la visibilidad por debajo de los 1.000 m y se forma cuando el aire húmedo se enfría por debajo de su punto de condensación y el vapor de agua se convierte en gotas de agua condensadas.

Algunos estudios, como el realizado por Boorman et al. (2010), muestran que, para un escenario de emisiones medias, para el año 2080 se producirá una disminución en los días de niebla para la mayoría de las zonas del Reino Unido y estaciones, con la excepción del sur de Inglaterra en invierno.

3.4.6. Evaluación de vulnerabilidad y adaptabilidad al cambio climático.

El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (PANCC) define la vulnerabilidad como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente, comprendiendo una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación, mientras que el riesgo es la potencial consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto (IPCC, 2014).

La consideración de las vulnerabilidades actuales a los fenómenos meteorológicos extremos, integrados con una evaluación de los riesgos climáticos futuros puede ser una herramienta excelente al momento de preparar estrategias que ayuden a las actividades industriales a buscar herramientas de adaptación al cambio climático (Scott et al. 2013). Ante esto, las industrias necesitarán gestionar proactivamente las vulnerabilidades identificadas y desarrollar e implementar decisiones integradas de gestión y planificación que tengan en cuenta la naturaleza multifacética del cambio climático (Nursey-Bray et al. 2013), por lo que en el corto plazo se hace necesario evaluar la vulnerabilidad de las actividades portuarias, para lo cual se reafirma la idea de identificar e implementar medidas de adaptación a los riesgos, considerando para esto los impactos actuales y previstos ante nuevos escenarios (Ministerio de Medioambiente 2014, Ministerio del Medio Ambiente 2016).

Por consiguiente, al evaluar la vulnerabilidad al cambio climático, se responde a lo especificado en la Política Nacional sobre Cambio Climático, ayudando a la industria y al sistema productivo a lograr la anhelada adaptación ante las condiciones al cambio climático.

Dependiendo del contexto, el análisis de vulnerabilidad puede estar enfocado hacia (Brugère & De Young 2015):

- 1) Las personas en diferentes escalas (individuos, grupos sociales, hogares, comunidades, provincias, naciones, regiones).
- 2) La vulnerabilidad de diferentes actividades humanas (por ejemplo, agricultura, pesca, acuicultura, turismo, Transporte, vivienda), así como además puede referirse a lugares específicos (por ejemplo, cuencas lacustres y fluviales, costas bajas, mares cerrados,

deltas, sistemas de afloramiento) o vulnerabilidades a factores de estrés / peligros particulares (es decir, desastres naturales, cambios ambientales globales o cambios en general).

Por este motivo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, sitúa la evaluación de la vulnerabilidad entre las primeras etapas del proceso de adaptación (**Figura 12**), y los métodos para evaluar rápidamente el riesgo, la exposición y la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático pueden respaldar la evaluación de riesgos claves (Edenhofer et al. 2014).



Figura 12. Procesos de adaptación y sus cuatro componentes claves según el Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (Brugère& De Young 2015).

La vulnerabilidad es un tema complejo y subjetivo, y su etimología ha evolucionado con el tiempo. Muchos estudiosos de las ciencias naturales y sociales han trabajado en lo que significa vulnerabilidad en contextos disciplinarios particulares, dando como resultado interpretaciones de vulnerabilidad enfocadas en diferentes componentes del sistema socio-ecológico, diferentes escalas físicas y temporales y diferentes metodologías de investigación (McLaughlin y Dietz, 2008).

De esta manera, las perspectivas disciplinarias desde las que se considera la vulnerabilidad, configuran un conjunto de preguntas y metodologías, para responder a estas preguntas, condicionando no sólo el enfoque del proceso de análisis e investigación, sino también la interpretación de los hallazgos y las posteriores acciones que ayuden a la adaptación (Brugère & De Young 2015).

Ante esto, tres escuelas de pensamiento se han desarrollado al respecto de las cuales existen distintas miradas relacionadas con la comprensión de la vulnerabilidad y que son (Eakin & Luers 2006):

1. **Peligros / riesgos**, los cuales utilizan una amenaza biofísica como punto de partida y que describe, en una escala muy amplia a ¿qué unidad / sistema es vulnerable?, ¿qué consecuencias se pueden esperar y dónde y cuándo pueden ocurrir esos impactos?;
2. **Economía política o ecología**, los cuales exploran la vulnerabilidad con respecto a los amplios procesos de cambio institucional y ambiental y que aboga por una consideración equilibrada de las dinámicas tanto biofísicas como sociales en la toma de decisiones. Como perspectiva de la economía política, se centra en la dimensión política de la vulnerabilidad.
3. **Resiliencia**, la cual entrega un peso predominante a las implicaciones del cambio social y ambiental a través del espacio geográfico más amplio, reduciendo la actividad humana a solo una de las fuerzas motrices y los seres humanos como una sola de las especies afectadas.

Estos tres enfoques han sido sugeridos para obtener una evaluación integral de la vulnerabilidad de las actividades productivas al cambio climático (Ellison 2015), los cuales serán aplicados en el presente trabajo para confeccionar el plan de adaptabilidad.

3.4.7. Aplicación de normativas para el manejo de los riesgos.

Una forma de afrontar los riesgos y vulnerabilidad al cambio climático, e iniciar un proceso de adaptabilidad al mismo, puede ser abordada dentro de los procesos de gestión de las empresas. Una de estas herramientas que puede ayudar a contener este riesgo se encuentra disponible dentro de las directrices estándares propuestas por International Organization for Standardization (ISO), y de manera específica, en la familia de normas 31000 sobre gestión del riesgo. El propósito de dicha normativa es proporcionar principios y directrices para la gestión de riesgos, a través de un proceso implementado en el nivel estratégico y operativo.

En general, el modelo de evaluación de riesgo propuesto por la ISO 31000 permite incluir una adecuada gestión del riesgo en los procesos, los cuales se establecen a través de un conjunto de etapas que distinguen por 1) Establecer el Contexto; 2) Identificar los Riesgos; 3) Analizar los Riesgos; 4) Evaluar los Riesgos y 5) Tratar los Riesgos.

Ahora la principal modificación de este proceso estándar es la integración de datos relacionados con el análisis de vulnerabilidad. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Solomon et al. 2007), señala que la vulnerabilidad consta de tres elementos principales:

1. Exposición a un riesgo (para este proyecto, la medida en que un puerto puede estar sujeto a olas de calor, eventos intensos de lluvia, aumento del nivel del mar, etc.).
2. Sensibilidad (el grado de impacto negativo en los recursos humanos, la infraestructura y los activos del puerto).
3. Capacidad de adaptación (de los recursos humanos, los activos y la infraestructura del puerto para gestionar ese impacto).

Ahora, dado a que el propósito de la norma ISO 31000:2009 es aplicar y adaptar al público, cualquier empresa pública o privada, comunidad, asociación, grupo o individuo

a la eventualidad y control del riesgo, es posible que dicha normativa sea un puente para ir gestionando la necesidad de adaptabilidad al cambio climático, mitigando así su efecto, considerando además que "el riesgo es el efecto de la incertidumbre sobre los objetivos".

CAPITULO 4. MÉTODOS EMPLEADOS.

4.1. Metodología del objetivo específico 1. Confeccionar un modelo DPSIR para identificar las presiones a las que están expuestos los sistemas portuarios en estudio, ante escenarios de Cambio Climático.

4.1.1. Revisión y recopilación de la información ambiental existente tanto académica como de organismos públicos.

La recopilación de la información histórica se realizó mediante la búsqueda de información en los principales gestores bibliográficos nacionales (i.e. Scielo u otros) e internacionales (ASFA-Proquest), así como en los repositorios de organismos del estado (ie. Ministerios de Medio Ambiente, Salud, Agricultura, Economía, Servicios Públicos, Municipalidades, etc.), u ONGS que dan cuenta de las acciones ambientales realizadas en dichos lugares. Paralelamente y con la finalidad de aumentar el espectro de búsqueda se utilizó un buscador genérico como es Google Académico (<https://scholar.google.es/>), el cual incluye otras fuentes de información como tesis, reportes técnicos y publicaciones. Esta información se sistematizó en un repositorio bibliográfico de uso libre (i.e. MENDELEY), siguiendo los formatos preestablecidos en dicho programa.

Con esta información se realizó una descripción pormenorizada de:

- Las características ambientales de la zona.
- Identificación de fuerzas motrices y sus respectivas presiones sobre los componentes del ecosistema.

4.1.2. Creación de un modelo conceptual de los impactos del cambio climático en las distintas zonas de operación del sistema portuario.

Las diversas fuentes de información que presentaron información ambiental de ambas Bahías fueron sistematizada para la creación de Modelos Conceptuales Integrados del Ecosistema (ICEMS por sus siglas en inglés) los cuales fueron complementados con la información proveniente de los estudios realizados por el Centro de Ecología Aplicada (CEA) (Contreras et al. 2013) y del Instituto de Fomento Pesquero 2016 (Cárcamo & Sfeir 2016, Figueroa-Fábrega et al. 2016, Letelier & Pinilla 2016, Vera et al. 2016), los cuales representan el conocimiento científico actual de los componentes críticos que comprenden los ecosistemas.

Con esta información se definieron los eventos climáticos sobre los cuales se realizó el análisis, teniendo en cuenta solo aquellos que son relevantes para la operación de la terminal portuaria. El análisis se realizó para cada uno de los eventos climáticos seleccionados, sean de variabilidad o de cambio climático.

4.1.3. Creación del modelo para identificar efectos del cambio climático en las distintas zonas de operación del sistema portuario.

Se aplicó el modelo DPSIR a ambos ecosistemas, lo cual involucró la integración de las presiones a las que está sometido el ecosistema, ante los escenarios de cambio climático. A partir de este modelo, se definieron cuatro módulos para este estudio (Fuerza Motriz o Conductores, Presiones, Estados y los Respuestas).

Para definir e identificar las "fuerzas motrices" dentro del modelo se utilizaron los métodos propuestos por distintos grupos de trabajo (Cave et al. 2003, 2005, Borja et al. 2004, Cook 2014), siguiendo los criterios definidos por el grupo IMPRESS de la Comunidad Europea (IMPRESS 2000, 2003) y las tablas de vinculación propuestas por la US-EPA (<https://archive.epa.gov/ged/tutorial/web/html/index.html>)

Las Presiones fueron definidas como las diversas características físicas, químicas, biológicas que influyeron directamente en el ecosistema. Para poder identificar las

presiones existentes, se evaluó la pertinencia de aquellas presiones contenidas y definidas por el grupo IMPRESS (IMPRESS 2000, 2003), así como las utilizadas por diversos autores en distintas partes del mundo (Cave et al. 2003, 2005, Borja et al. 2004, Nuttle & Fletcher 2013a, Cook et al. 2014).

4.2. Metodología del objetivo específico 2. Realizar una evaluación de Vulnerabilidad y Riesgo ante escenarios de Cambio Climático de la infraestructura y procesos de los sistemas portuarios en estudio.

4.2.1. Identificación de factores que afectan el éxito en el funcionamiento de los sistemas portuarios en estudio.

Una vez que ya se clarificaron las presiones y sus respectivos impactos en la actividad industrial, se procedió identificar cuáles son los factores de éxito en el funcionamiento de la terminal portuaria, o que puedan afectar la misión y visión de la empresa, que pueden verse afectado directa o indirectamente, por los fenómenos climáticos definidos. Para esto se identificaron las misiones y visiones de cada sistema portuario, identificados en las respectivas declaraciones oficiales de sus administradores.

Para esto se trabajó sobre un modelo conceptual de la actividad portuaria para identificar los factores de éxito que pueden verse afectados por el clima, en cada una de los modelos operativos y de zonificación de los sistemas portuarios en estudio, utilizando para esto los registros sobre las interrupciones o alteraciones en la logística empresarial.

4.2.2. Determinación del Índice de Riesgo Climático Empresarial.

Dada la incertidumbre con que los impactos futuros del cambio climático presentan, es necesario abordar los tres componentes que determinan el riesgo, los cuales son (1) probabilidad de ocurrencia, (2) consecuencias esperadas y (3) capacidad adaptativa; que definen la vulnerabilidad intrínseca de la empresa frente a los efectos del cambio climático.

Este análisis de riesgos climáticos tiene en cuenta y adapta las metodologías propuestas tanto por el IPCC, y por el Department for environment, food and rural affairs, en el marco de la política de cambio climático del Reino Unido (Schneider et al. 2007).

Este método se basa en una evaluación de la importancia relativa de los factores o presiones ambientales, en base al conocimiento previo de las operaciones, para lo cual en el presente trabajo utilizamos la información pública disponible de cada terminal.

La determinación del Índice de Riesgo Climático Empresarial fue realizado siguiendo la metodología propuesta por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017) (MinAmbiente - Invemar - MinTransporte 2017).

Para esto la identificación y análisis del riesgo consistió en la determinación de la probabilidad de que ocurra un impacto específico, como efecto de un evento de origen climático, para lo cual se consideró una calificación de 6 categorías que fueron desde improbable a muy probable (**Tabla 1**), asignándole un puntaje a cada una de las presiones identificadas en cada una de las zonas de operación de los sistemas portuarios.

Por otra parte, se determinó las Consecuencias Esperadas para cada uno de los factores evaluados, calificando para esto el nivel de gravedad que las consecuencias pueden tener. La escala que se utilizó, asigna puntajes de 0 a 10, los cuales fueron desde una importancia despreciable, a una importancia muy grave (**Tabla 2**).

Tabla 1.

Asignación de puntajes por categorías a la probabilidad de ocurrencia.

(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017).

	Muy poco probable	Poco probable	Probable	Bastante probable	Muy probable
Puntaje	3	4	5	7	9

Tabla 2.

Matriz de asignación de puntajes del Nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados. (Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017).

Puntaje	Grado	Consecuencias económicas y Operativas	Daños Físicos	Consecuencias en la seguridad de la operación
0	Despreciable	Sin repercusiones	Sin daños físicos	Sin repercusiones
3	Mínima	Repercusiones irrelevantes	Daños físicos irrelevantes	Sin repercusiones
4	Menor	Repercusiones en las cuentas	Daños físicos leves	Sin repercusiones
5	Significativa	Repercusiones notables	Daños físicos notables	Sin repercusiones
7	Importante	Importantes repercusiones	Daños físicos importantes asumibles	Sin repercusiones
9	Grave	Graves repercusiones	Daños físicos difíciles de asumir	Repercusiones de poca envergadura y asumibles
10	Muy Grave	Repercusiones económicas exigen el cierre	Daños físicos no asumibles	Puede tener repercusiones no asumibles

A partir de ambos indicadores, se obtuvo el Índice de Riesgo Climático Empresarial, el cual se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Riesgo Climático Empresarial} = \text{Probabilidad de Ocurrencia} * \text{Consecuencias Esperadas.}$$

Con el valor del índice, se fijó el nivel de riesgo (**Tabla 3**) de cada presión ambiental originada por el cambio climático, en cada una de los modelos operativos y de zonificación de los sistemas portuarios en estudio.

Tabla 3.

Matriz de asignación de magnitud del Índice de Riesgo Climático Empresarial propuesto por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017).

Índice de riesgo		CONSECUENCIA						
		Despreciable	Mínima	Menor	Significativa	Importante	Grave	Muy grave
PROBABILIDAD	Improbable	0	9	12	15	21	27	30
	Muy poco probable	0	12	16	20	28	36	40
	Poco probable	0	15	20	25	35	45	50
	Probable	0	21	28	35	49	63	70
	Bastante probable	0	27	36	45	63	81	90
	Muy probable	0	30	40	50	70	90	100

Con el análisis del índice de riesgo, se procedió a diseñar y priorizar medidas de adaptación, utilizando para esto el modelo desarrollado por el MDS de Colombia (2017) (Tabla 4).

Tabla 4.

Matriz de asignación de magnitud del Índice de Riesgo Climático Empresarial propuesto por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017).

RIESGO	MAGNITUD	CATEGORÍA	TIPOLOGÍA	PRIORIZACIÓN
Muy Alto	>90	5	R5	Es urgente evaluar acciones
Alto	51 - 90	4	R4	En necesario evaluar acciones
Medio	31 - 50	3	R3	Es recomendable evaluar acciones
Bajo	21 - 30	2	R2	Es necesario el seguimiento, pero no tanto evaluar acciones
Muy bajo	0 - 20	1	R1	No es necesario evaluar acciones preventivas o adaptativas
Despreciable	0	0	R0	Riesgo despreciable

4.2.3. Determinación de la Vulnerabilidad Climática Empresarial.

Siguiendo la metodología propuesta por el MDS de Colombia, se identificaron indicadores de los 4 grupos de variables que se sugieren para la evaluación de la capacidad de adaptación de las empresas al cambio climático, las fueron:

1. Variables transversales: Las cuales fueron principalmente del ámbito gubernamental, basada en la PNCC y del Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura del cambio climático (Lapiente et al. 2013).
2. Recursos económicos: Los cuales se enmarcan en la índole de la existencia de recursos económicos para hacer frente a los riesgos. Para esto se analizó información pública que permita identificar si existe la inclusión en el presupuesto de la empresa que permita financiar un plan de adaptación al cambio climático.

3. Infraestructuras y tecnología: Para dar cuenta sobre esta dimensión se identificó información que permita dar cuenta de la disponibilidad de las infraestructuras y / o tecnologías necesarias y suficientes para hacer frente a los riesgos identificados.

4. Variables sociales: Se determinó el nivel de información y conocimiento, así como la disponibilidad de información en la empresa y en sus agentes clave, conocimiento del riesgo y/o de las oportunidades relacionadas con el cambio climático.

Con la determinación de estas variables en el contexto empresarial, se procedió a calificar la capacidad de adaptación de las empresas, utilizando la siguiente descripción (**Tabla 5**):

- Despreciable: No se dispone de ninguna variable (CA0).
- Mínima: Se dispone de una o dos variables (CA1-2).
- Media: Se dispone de tres variables (CA3).
- Significativa: Se dispone de cuatro variables (CA4).
- Importante: Se dispone de cinco variables (variables transversales, recursos económicos infraestructura, información, conocimiento) (CA5).

Tabla 5.

Asignación de puntajes por categorías para la Capacidad de adaptación.

(Modificado de la propuesta realizada por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017).

	Despreciable	Mínima	Media	Significativa	Importante
	CA 0	CA 1-2	CA 3	CA 4	CA 5
Puntaje	10	7	4	3	1

Con esta información se obtuvo la Vulnerabilidad Climática Empresarial, utilizando la fórmula propuesta por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017) y que se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad Climática Empresarial} = \frac{\text{Índice de Riesgo Climático Empresarial} *}{\text{Capacidad de adaptación.}}$$

La vulnerabilidad se calculó de manera específica para cada riesgo evaluado y para cada receptor del impacto, por lo que cuando mayor fue la severidad del Índice de Riesgo Climático Empresarial, mayor fue la vulnerabilidad del elemento receptor del riesgo (factor de éxito) (Tabla 6).

Tabla 6

Matriz de asignación de magnitud de la Vulnerabilidad Climática Empresarial propuesto por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017)).

		CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
		Despreciable (CA0)	Mínima (CA1)	Media (CA2)	Significativa (CA3)	Importante (CA4)
TIPOLOGÍA DE RIESGO	R0	0	0	0	0	0
	R1	200	140	80	60	20
	R2	300	210	120	90	30
	R3	500	350	200	150	50
	R4	900	630	360	270	90
	R5	1000	700	400	300	100

Dependiendo del valor obtenido se determinó una tipología del nivel de vulnerabilidad del sistema portuario analizado, y de la zonificación de procesos definidos para este (Tabla 7).

Tabla 7

Matriz de Tipología del grado de Vulnerabilidad Climática Empresarial propuesto por el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2017)).

RIESGO	MAGNITUD	CLASE	TIPOLOGÍA
Muy Alto	>700	5	V5
Alto	>500-700	4	V4
Medio	>300-500	3	V3
Bajo	>100-300	2	V2
Muy Bajo	> 0-100	1	V1
Despreciable	0	0	V0

4.3. Metodología del objetivo específico 3. Identificar mecanismos que permitan abordar los impactos originados por el cambio climático.

Una vez realizados los modelos conceptuales, y determinados los niveles de riesgo, vulnerabilidad y nivel de adaptabilidad se procedió identificar mecanismos que permitan abordar los impactos originados por el cambio climático, en los distintos sistemas portuarios analizados. Esta actividad se enfocó en determinar lineamientos de gestión basados en el riesgo, para lo cual se evaluó un sistema de gestión de riesgos utilizado actualmente por una industria portuaria, y se intentó alinearlos con el estándar de gestión de riesgos propuesto por la norma ISO 31000.

La propuesta del plan en base a dicho estándar proporciona un enfoque estructurado para la gestión del riesgo empresarial, de tal manera que permita adaptar las vulnerabilidades detectadas a la gestión del riesgo, tal como lo sugiere Scott y colaboradores (2013) en su modelo de 4 etapas (**Figura 13**).

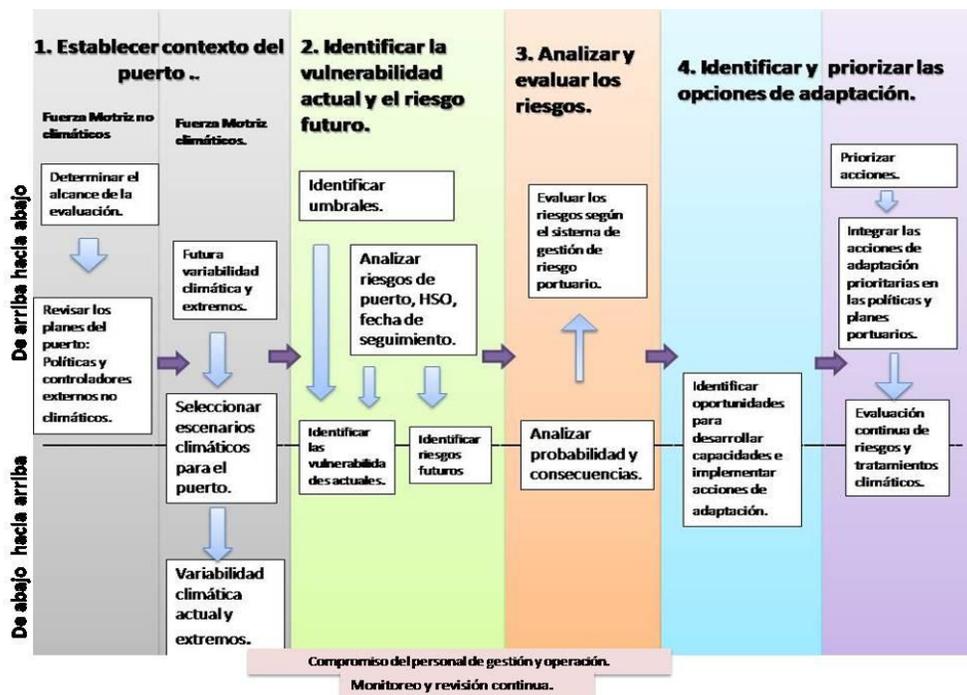


Figura 13. Modelo conceptual de la herramienta de evaluación híbrida de Vulnerabilidad / Riesgo propuesto por Scott y colaboradores (2013).

Con esta metodología se logra identificar las opciones de adaptación para los puertos, incluidas oportunidades para desarrollar capacidad de adaptación a través de capacitación, monitoreo de datos e investigación; y una gama de acciones de adaptación que requerirían una investigación específica del sitio, tal como ha sido utilizado en otros puertos a nivel mundial.

CAPITULO 5. RESULTADOS.

5.1. Impactos esperados en los sistemas portuarios, en función de los escenarios descritos ante cambio climático.

En la **Tabla 8** se puede presentar los forzantes naturales y los respectivos impactos previstos en la actividad portuaria sus implicancias en las tres regiones descritas en el modelo general de operatividad de los sistemas portuarios. En esta se puede observar que los principales impactos se generan por cambios en la intensidad y dirección del oleaje, intensidad y duración de temporales y cambios nivel del mar. En cuanto a los impactos según la región de vinculación, para la zona externa los impactos que más se repiten son pérdidas de terreno industrial, disminución de operatividad y los derivados de problemas de navegación. En el caso de la zona de operación puerto, existe una mayor cantidad de impactos, sin embargo los problemas derivados de la navegación y de la disminución de la operatividad, son los que tienen mayor repetitividad independiente del forzante climático. Finalmente, en la zona a los problemas derivados con pérdida de terreno industrial y disminución de operatividad del puerto, hay que agregarle los efectos originados por inundaciones y perdidas de áreas someras.

En cuanto a las intensidades, de las distintas forzantes, en el caso de la zona externa tanto el cambio del nivel del mar, la intensidad y duración de los temporales y los cambios en el oleaje obtienen un mayor valor ponderado, mientras que en la zona portuaria la niebla y los vientos son los que obtienen intensidades mayores. Finalmente en la zona de influencia, las inundaciones por precipitaciones son las con mayor puntuación.

En la **Figura 15** se observa el resultado del modelo DPSIR que permite comprender la relación causa efecto que tienen las presiones ambientales sobre el sistema portuario. En esta se observa que si bien la principal forzante de las presiones y los respectivos impactos sobre el sistema es, el cambio climático, algunas presiones como es el caso de las tormentas, presenta un comportamiento más forzante, pues influye en distintas presiones maximizando los impactos.

Tabla 8

Forzantes naturales y los respectivos impactos previstos en la actividad portuaria para las tres regiones de influencia de los sistemas portuarios y sus intensidades

(- = nula, X = Baja, XX = media, XXX = Relevante). (2018)

Forzante Ambiental	Potencial Impacto	Región Externa	Sistema Portuario	Zona de Influencia o Hinterland
Cambio del nivel del mar	Degradación de materiales en el tiempo	-	XX	-
	Fallas en procesos y estructuras	X	XX	X
	Cambios en necesidad y periodicidad de dragado	-	XXX	-
	Inundación y pérdida de áreas someras	-	X	XX
	Desborde de estructuras	-	X	X
	Ensanche de línea de costa	-	X	XX
	Pérdida de terreno industrial	X	XX	XXX
	Reducción capacidad de recuperación natural	-	X	-
	Problemas de navegación	X	XXX	-
	Pérdida de capacidad de almacenamiento	X	XX	XX

Continuación tabla 8

Forzante Ambiental	Potencial Impacto	Región Externa	Sistema Portuario	Zona de Influencia o Hinterland
Cambio intensidad y dirección del oleaje	Degradación de materiales en el tiempo	-	XX	-
	Fallas en procesos y estructuras	X	XX	-
	Cambios en necesidad y periodicidad de dragado	-	XX	-
	Cambios en procesos de erosión y acreción	-	XX	XX
	Inundación y pérdida de áreas someras	-	XX	XX
	Rebase de estructuras	-	X	XX
	Ensanche de línea de costa	-	X	XX
	Pérdida de terreno industrial	X	X	XX
	Reducción capacidad de recuperación natural	-	-	X
	Problemas de navegación	X	XXX	-
	Pérdida de capacidad de almacenamiento	X	XXX	X
	Disminución en la operatividad del puerto	X	XXX	XX
	Retraso adicional	X	XX	X

Continuación tabla 8

Forzante Ambiental	Potencial Impacto	Región Externa	Sistema Portuario	Zona de Influencia o Hinterland
Cambios en los patrones de sedimentación	Degradación de materiales en el tiempo	-	XX	-
	Cambios en procesos de erosión y acreción	-	XX	XX
	Ensanche de línea de costa	-	X	X
	Perdida de terreno industrial	X	XXX	XX
Cambio en intensidad y duración de temporales	Degradación estructural	-	XX	X
	Cambios en procesos de erosión y acreción	-	X	X
	Disminución en la operatividad del puerto	X	XXX	X
	Fallas en procesos y estructuras	-	XX	-
	Inundación y pérdida de áreas someras	-	X	XX
	Rebase de estructuras	-	XX	X
	Perdida de terreno industrial	X	XXX	XX
	Problemas de navegación	X	XXX	-
	Disminución en la operatividad del puerto	X	XXX	X
	Retraso adicional	X	XX	-
	Efectos de arrendamientos	-	X	XX

Continuación tabla 8

Forzante Ambiental	Potencial Impacto	Región Externa	Sistema Portuario	Zona de Influencia o Hinterland
Cambio e intensidad y dirección del viento	Problemas de navegación	-	XX	-
	Disminución en la operatividad del puerto	-	XXX	-
	Retraso en los procesos portuarios	X	XX	X
Cambio en intensidad y periodicidad de Nieblas	Problemas de navegación	-	XXX	-
	Disminución en la operatividad del puerto	-	XXX	-
	Retraso en los procesos portuarios	X	XXX	XX
Precipitaciones	Disminución en la operatividad del puerto	-	-	X
	Inundación y pérdida de áreas someras	-	X	XXX

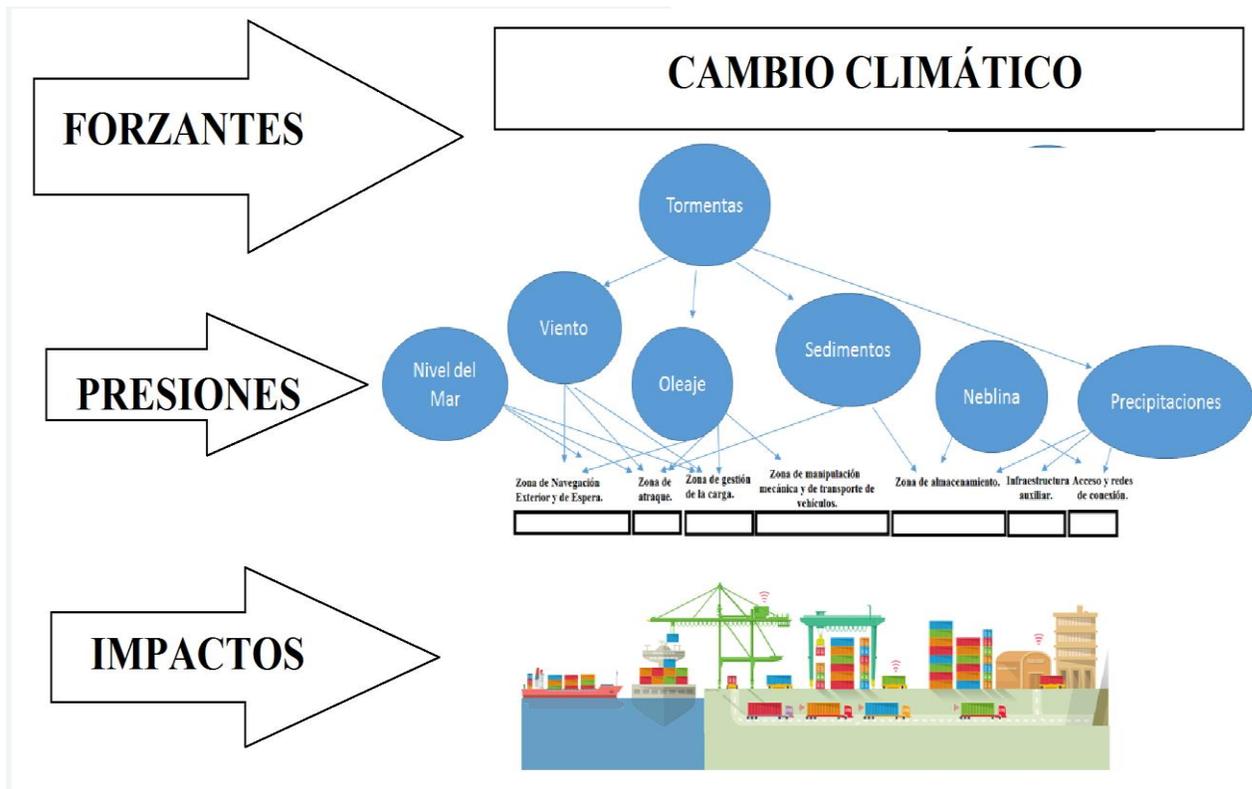
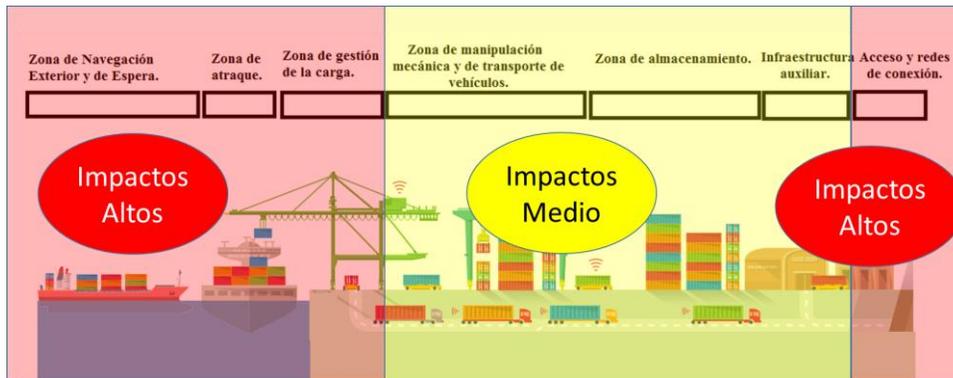


Figura 15. Modelo DPSIR para el modelo conceptual del sistema portuario y cómo impacta en las distintas zonas de un puerto. (2018)

En la **Figura 16** se presenta una zonificación de los impactos analizados para cada una de las zonas, de los sistemas portuarios en estudio, donde se aprecia claramente diferencias vinculadas principalmente a la geografía diferenciada de las zonas de estudio. Por ejemplo en el caso de Quintero, no existen riesgos en los accesos y redes de conexión pues estos son variados y muy bien vinculados con las zonas productivas.

a) Puerto San Antonio.



b) Puertos de Bahía Ventana

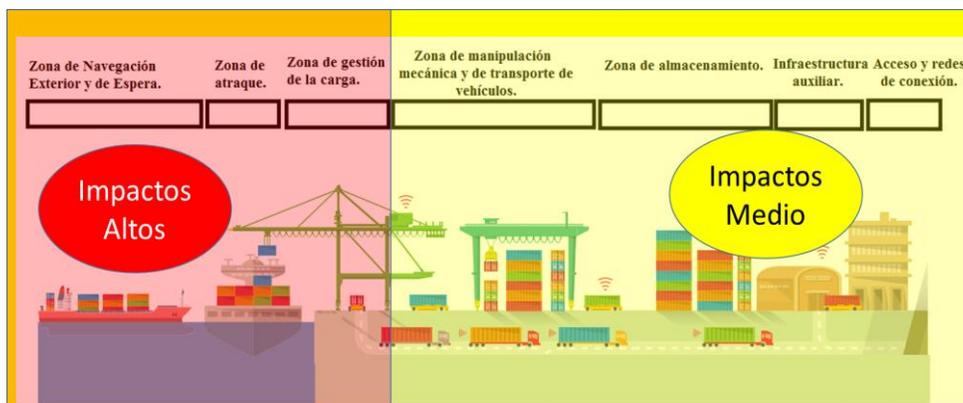


Figura 16. Nivel de impacto esperado originado por las presiones ambientales del Cambio Climático en cada zona de los sistemas portuarios estudiados. (2018)

De hecho, en la mayoría de los casos, los puertos del sistema portuario de Bahía Quintero responden directamente a las empresas para las que fueron creadas, mientras que en el caso de San Antonio, este se encuentra asociado a la prestación de servicios de carga y descarga. Por otra parte, San Antonio si bien está bien conectado, la cercanía de este a la desembocadura del río Maipo, aumenta los potenciales impactos a la red de acceso. En la **Tabla 9** se presentan las misiones y visiones generales que tienen las distintas empresas que administran estructuras portuarias en la zona de estudio.

En la **Tabla 10** se presenta la asignación de probabilidad de ocurrencia de cada forzante según el tipo de bahía, donde en general para San Antonio la Probabilidad de Impactos en el Puerto de San Antonio va de Poco Probable a Probable, mientras que debido a su ubicación y características geográficas, para el caso de bahía Quintero es Poco Probable.

Tabla 9

Misión y visión disponibles en las respectivas páginas web institucionales de los distintos puertos presentes en las zonas de estudio. (2018)

Empresa Portuaria de San Antonio (EPSA)	AES GENER	Puerto Ventanas	OXIQUIM	GNL	ASIMAR
<p>Misión Ser referente de la industria en buenas prácticas portuarias tanto en capacidad de transferencia, calidad de servicio, sostenibilidad y aplicación de las mejores tecnologías. Construir y gestionar la infraestructura portuaria que acompañe el desarrollo del país</p>	<p>Misión Mejorar vidas acelerando un futuro energético más seguro y sostenible</p>	<p>Misión Contribuir al progreso sostenible de Chile y Latinoamérica, entregando a nuestros clientes servicios portuarios de calidad y seguros</p>	<p>Misión No disponible</p>	<p>Misión Operar y desarrollar nuestro Terminal de GNL en Quintero para entregar un suministro confiable de gas natural y GNL a la zona central de Chile mediante una operación sostenible, segura y eficiente, agregando valor a nuestros accionistas, clientes, comunidades vecinas y medio ambiente, a través de un equipo de personas capacitadas, motivadas y comprometidas.</p>	<p>Misión No disponible</p>
<p>Visión Gestionar como autoridad portuaria el sistema logístico de San Antonio de manera integral y sostenible, creando valor al comercio exterior, desarrollando el mayor puerto del país en sus instalaciones actuales y en el nuevo terminal de gran escala.</p>	<p>Visión Ser la compañía de energía sostenible líder del mundo que provee de forma segura energía confiable y asequible.</p>	<p>Visión Gestionar como Ser reconocida como la mejor empresa portuaria en servicios de calidad y sostenibles para la minería, energía e industria en Chile.</p>	<p>Visión No disponible</p>	<p>Visión Ser reconocidos a nivel nacional y en la industria global del GNL por nuestra operación sostenible y servicio de excelencia, la calidad y compromiso.</p>	<p>Visión No disponible</p>

Tabla 10

Asignación de puntajes por categorías a la probabilidad de ocurrencia. (2018)

Puerto	Cambio Nivel del Mar	Intensidad y dirección del viento	Intensidad y duración de temporales	Cambio en patrón de nieblas	Cambio patrones de sedimentación	Cambio patrones de pluviometría	Promedio	Clasificación
Puerto San Antonio	7 Probable	9 Bastante Probable	10 Bastante Probable	5 Poco Probable	5 Poco Probable	7 Probable	6	Poco Probable a Probable
Bahía de Quintero	7 Probable	4 Muy Poco Probable	7 Probable	5 Poco Probable	4 Muy Poco Probable	7 Probable	4,5	Poco Probable

Tabla 11

Matriz de asignación de puntajes del Nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados para San Antonio. (2018)

Empresa	Consecuencias económicas y operativas	Daños Físicos	Consecuencias en la seguridad de la operación	Categoría	Probabilidad de Ocurrencia	Magnitud de Riesgo	Nivel de Riesgo
Cambio Nivel del Mar	9	7	9	Importantes a Graves (8)	6	48	R3
Intensidad y dirección del viento	4	4	9	Importante (6)	6	36	R3
Intensidad y duración de temporales	5	7	9	Importante (7)	6	42	R3
Cambio en patrón de nieblas	3	3	9	Significativa (5)	6	30	R2
Cambio patrones de sedimentación	7	6	7	Importante (7)	6	42	R3
Cambio patrones de pluviometría	7	7	7	Importante (7)	6	42	R3

Tabla 12

Matriz de asignación de puntajes del Nivel de gravedad de las consecuencias frente a la ocurrencia de los impactos identificados para Quintero. (2018)

Empresa	Consecuencias económicas y operativas	Daños Físicos	Consecuencias en la seguridad de la operación	Categoría	Probabilidad de Ocurrencia	Magnitud de Riesgo	Nivel de Riesgo
Cambio Nivel del Mar	7	5	9	Significativa (5,3)	4,5	23,85	R2
Intensidad y dirección del viento	7	7	9	Grave (8)	4,5	36	R3
Intensidad y duración de temporales	7	7	9	Importante (7,6)	4,5	34,2	R3
Cambio en patrón de nieblas	4	3	9	Significativa (5,3)	4,5	23,85	R2
Cambio patrones de sedimentación	7	7	9	Significativa (6,6)	4,5	29,7	R2
Cambio patrones de pluviometría	7	5	7	Significativa (6,3)	4,5	28,35	R2

En la **Tabla 11 y 12**, se aprecia el análisis de gravedad de las consecuencias de cada forzante en el Puerto de San Antonio y La Bahía de Quintero respectivamente.

En cuanto a la Adaptabilidad, esta es baja para ambos puertos (**Tabla 13**) debido principalmente a la falta de herramientas económicas para abordar el tema. Sin embargo, la vulnerabilidad es baja, no por la adaptabilidad sino que más bien por el nivel de riesgo que las forzantes tienen sobre la operatividad.

Tabla 13

Asignación de puntajes para la capacidad de adaptación según el grado de desarrollo.
(2018)

Puerto	Variables Transversales	Recursos Económicos	Infraestructura y tecnología	Variables Sociales	Capacidad de Adaptación	Tipología de Riesgo	Vulnerabilidad
San Antonio	7	7	4	1	4,75 CA 3	40 R3	190 Baja
Bahía Quintero	7	7	3	1	4,5 CA 3	29.325 R2	180 Baja

En la **Figura 14** se presenta el esquema de vinculación de acciones para la generación del Plan de acción para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático para los sistemas portuarios en estudio.

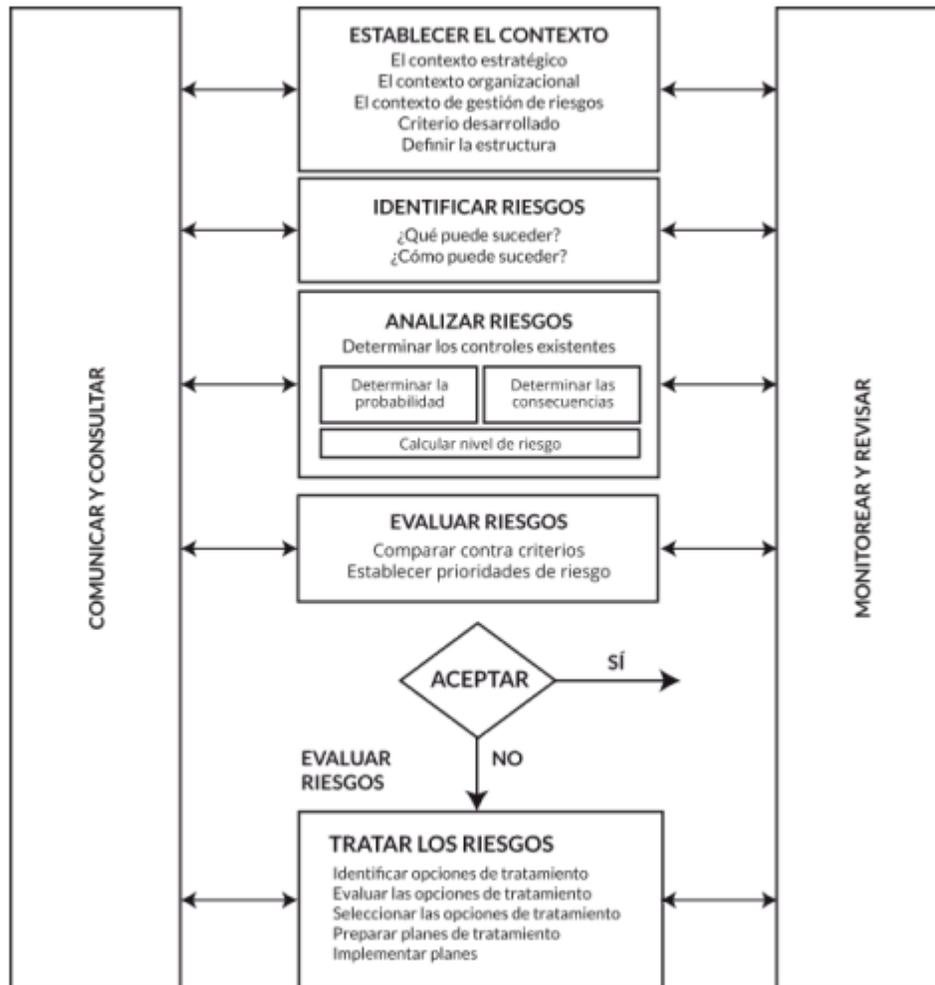


Figura 14. Plan de acción para la implementación de medidas de adaptación al cambio climático para los sistemas portuarios en estudio.

En relación a las herramientas que existen para abordar el riesgo relacionado al cambio climático, se pudo distinguir que existen dos tipos de adaptaciones que se deberían realizar para abordar aspectos relacionados al cambio climático. El primero tiene relación con la adaptación de la infraestructura, mientras que la segunda tiene que ver con la adaptación relacionada con los procesos.

En el caso de la infraestructura, no se evidencio que se estén abordando actualmente mejoras en esta temática en ninguno de los puertos estudiados. Evidentemente, esta infraestructura debe ir orientada principalmente a en atenuar los efectos originados por el viento y el oleaje, lo cual implica la aplicación de diferentes soluciones ingenieriles dependiendo de la bahía.

En el caso del Puerto de San Antonio, al presentar un molo de abrigo, las medidas ingenieriles son relativamente abordables. Por ejemplo, en la **Figura 15** se muestra un ejemplo de diseños de distintos tipos de diques con talud frente, para hacer frente a la proyección de un aumento de nivel del mar y/o del oleaje (Vicuña et al. 2013). En el caso de la Bahía de Quintero, las medidas de adaptación en relación a infraestructura son complejas de desarrollar, debido a la abertura y tamaño de esta e implican mayor nivel de ingeniería.

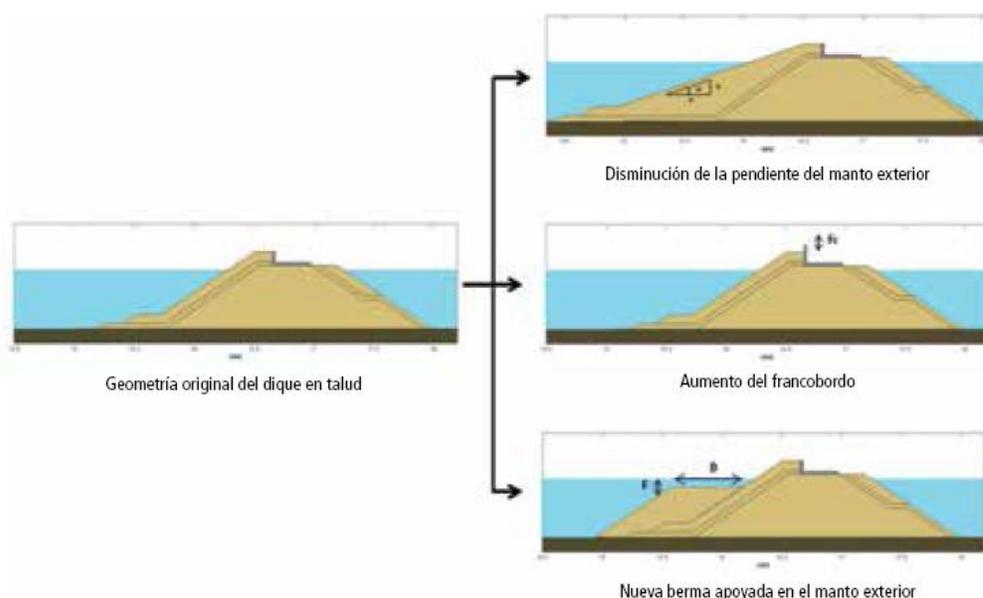


Figura 15. Ejemplo de adaptación de la sección de un dique en talud mediante la variación de la sección para aumento de nivel del mar y del oleaje. (Fuente: Vicuña et al. 2013)

La segunda manera de abordar los aspectos de adaptación, es en los planes de contingencia que regulan los procesos realizados en el puerto. En este sentido, la NORMA ISO 31000 es una herramienta factible de utilizar ya que se caracteriza por generar una serie de recomendaciones para que las organizaciones desarrollen, implementen y mejoren continuamente un marco de referencia cuyo propósito sea integrar el proceso para la gestión del riesgo en los procesos globales de gobierno, estrategia y planificación, gestión, procesos de presentación de informes, políticas, valores y cultura de la organización. La gestión del riesgo se puede aplicar a toda la organización, en todas sus áreas y niveles, en cualquier momento, así como a funciones, proyectos y actividades específicos. Cuando la gestión del riesgo se implementa, le permite a la organización, entre otros realizar una serie de acciones que se especifican en la **Tabla 14**.

Tabla 14

Acciones que permite gestionar la aplicación de la ISO 31000 en una organización. En negrita se presentan aquellas acciones que se pueden vincular a los procesos de adaptación de Cambio Climático. (2018)

Nº	Gestión del Riesgo.
1.-	Aumentar la probabilidad de alcanzar los objetivos.
2.-	Fomentar la gestión proactiva.
3.-	Ser consciente de la necesidad de identificar y tratar los riesgos en toda la organización.
4.-	Mejorar la organización.
5.-	Cumplir con los requisitos legales.
6.-	Establecer una base confiable para la toma de decisiones y la planificación.
7.-	Mejorar los controles.
8.-	Asignar y usar eficazmente los recursos.
9.-	Mejorar la eficacia y la eficiencia operativa.
10.-	Incrementar el desempeño de la salud y la seguridad, así como la protección ambiental.
11.-	Mejorar la prevención de pérdidas, y la gestión de incidentes.
12.-	Minimizar las pérdidas.
13.-	Mejorar el aprendizaje organizacional.

Los objetivos de la norma es el uso por cualquier empresa pública, privada o comunitaria, asociación, grupo o individuo. Por lo tanto, no es específica para ninguna industria o sector y se puede aplicar a cualquier tipo de riesgo, cualquiera sea su naturaleza, bien sea que tenga consecuencias positivas o negativas, transformándola en una excelente herramienta para vincularla a aspectos ambientales. Por otra parte, aunque esta norma suministra directrices genéricas, no se pretende promover la uniformidad de la gestión del riesgo en todas las organizaciones, suministrando un enfoque común en apoyo de las normas que tratan con riesgos, sectores específicos, o ambos, y no reemplaza a tales normas. Sin embargo se requiere de un compromiso fuerte y sostenido por parte de la dirección de la organización los cuales se identifican en la **Tabla 15**.

Tabla 15

Compromisos que una organización debe considerar para generar un sistema de control de riesgos. (2018)

Nº	Compromiso.
1.-	Definir y aprobar la política para la gestión del riesgo.
2.-	Garantizar que la cultura de la organización y la política para la G. R. están alineadas.
3.-	Determinar indicadores par G. R. Acordes con indicadores de la organización.
4.-	Alinear los objetivos de la G. R. Con los objetivos y estrategias de la organización.
5.-	Garantizar la conformidad legal.
6.-	Asignar obligaciones y responsabilidades.
7.-	Garantizar la asignación de recursos necesarios G. R.
8.-	Comunicar los beneficios G. R. A todas las partes.
9.-	Garantizar el marco de referencia.

El Plan General de riesgos deberá considerar los riesgos naturales, tecnológicos y laborales, y se preocupa de asegurar en todo momento la integridad de las estructuras, la precisión de las operaciones y la continuidad de las actividades de mantenimiento.

En el **Anexo 1**, se presenta un modelo de un Plan General de Emergencias y Contingencias Portuarias que busca incluir aspectos relacionados con variables asociadas al cambio climático.

CAPITULO 6. DISCUSION.

Los puertos y las industrias costeras se verán afectados directamente por los efectos originados por el cambio climático, tanto a una escala global como nacional. Estos efectos incluyen aspectos relacionados a la seguridad en el trabajo, los medios de vida económicos, la bioseguridad y las rutas comerciales. En este sentido la industria portuaria está comenzando a embarcarse en la búsqueda de identificar formas para construir vías de mitigación y reducir el impacto del cambio climático, mediante la implementación de distintos mecanismos que amplíen la vida útil de la infraestructura, así como de los procesos que aseguren el funcionamiento seguro de sus actividades.

Sin embargo, en el presente trabajo no se evidencio que existan mejoras o lineamientos básicos que busquen abordar temáticas relacionadas al cambio climático por parte de la industria portuaria nacional, a pesar de que existen lineamientos nacionales al respecto desde el año 2007.

En cuanto a los forzantes naturales y los respectivos impactos previstos en la actividad portuaria se pudo determinar que el oleaje, intensidad y duración de temporales, así como los cambios del nivel del mar son los principales factores en ambos sistemas portuarios, los cuales afectan directamente a todas las zonas definidas como de influencia del sistema portuario (*ie.* Externa, Puerto e Hinterland). Esto no es extraño, pues tal como se menciona en la definición de sistema Portuario, este es una zona de transición entre mar y tierra que busca integrar la actividad comercial, por lo que cualquier efecto que implique retrasos o aumento de costos operativos, genera impactos sobre la actividad que repercuten directamente en los mercados.

Para las intensidades de las distintas forzantes de la zona externa, tanto el cambio del nivel del mar, la intensidad, duración de los temporales y los cambios en el oleaje obtuvieron un mayor valor ponderado, mientras que en la zona portuaria la niebla y los vientos son los que obtuvieron mayores puntuaciones. Estas variables ya han sido mencionadas como relevantes en otros sistemas portuarios, y se relacionan a los cambios en aspectos de la dinámica del clima que originaría los escenarios relacionados con el cambio climático. En este sentido, cambios temporales de los forzamientos dinámicos del clima, pueden ser relevantes para distintas áreas y actividades portuarias,

por lo que estas dimensiones deben ser tomadas en cuenta en las acciones de diseño y gestión de los riesgos asociados a infraestructuras. Por ejemplo, para el caso del Puerto de Valparaíso, se ha mencionado que variaciones interanuales y de largo plazo del viento, niveles y oleaje deberían ser consideradas para la optimización de la actividad y para las estimaciones de capacidad y demanda futura, así como también en los planes de expansión de obras (Lozada et al. 2013).

Ahora bien, en el caso nacional, las proyecciones indican que más que impactos en el corto y mediano plazo de aumentos en el nivel del mar, la principal forzante que impactar negativamente las costas son los relacionados con temporales o tormentas ciclónicas. De hecho, un ejemplo de esta situación acontecido durante el año 2015, cuando debido a un aumento anómalo de marejadas, los puertos se mantuvieron cerrados casi 70 días del año, lo que originó impactos directos en la competitividad y comercio del país. Por este motivo, esta variable debe ser analizada con detención, pues es la que acarrea mayor nivel de impactos, incrementando incluso la acción de otras forzantes, como el oleaje, el viento o las inundaciones, las que pueden llegar a impactar las actividades portuarias, mas allá de lo previsto.

Los efectos originados por las distintas forzantes son diferentes entre ambos sistemas portuarios debidos principalmente a aspectos geográficos y geomorfológicos, siendo quizás el caso de san Antonio, por encontrarse al costado de la desembocadura de un río de gran envergadura, puede sufrir impactos negativos en la conectividad terrestre por cortes de puentes y carreteras.

En relacion a las misiones y visiones institucionales estas difieren entre si, ya que cada muelle o sistema portuario depende de administradores cuya misión y visión está en función del rubro productivo. Por ejemplo, solo dos de las empresas, ie. Puerto Ventanas y EPSA están dedicados completamente al rubro portuario, mientras que el resto tienen otro tipo de finalidad productiva, siendo la actividad portuaria un aspecto adicional que facilita sus operaciones. Esto implica que si bien para aquellas empresas cuya finalidad es la actividad portuaria, la adaptabilidad debiese ser un pilar fundamental que a la larga redundará en su productividad y competitividad, para otras solamente implicara el desarrollo de medidas de contingencia, pudiendo gestionar carga y descarga de productos en aquellos puertos que presenten infraestructura adecuada. Por

consiguiente, para aquellas empresas cuya finalidad es la carga y descarga es de suma importancia adaptarse a los efectos del cambio climático, pues este impacta directamente en la misión y visión de la actividad industrial. Esto quedo de manifiesto en el Análisis de Riesgo Empresarial, donde en el caso del Puerto de San Antonio es más relevante el Riesgo (Nivel R3), lo que implica desarrollar acciones tendientes a minimizarlo.

Del análisis de adaptabilidad se pudo observar que no se aprecian aspectos relacionados a la existencia de recursos económicos para hacer frente a los riesgos, a pesar de que se cuenta con infraestructura y tecnología para minimizar el impacto y una mayor internalización del concepto del cambio climático en el discurso público ya que se constató la existencia de variables transversales en el ámbito gubernamental.

Por otra parte, nuestros resultados revelan una vulnerabilidad diferencial en los puertos a corto y largo plazo en relación con su exposición al cambio climático. La vulnerabilidad es variable en los diferentes aspectos identificados entre ambas bahías, y es específica del puerto, así como del tipo de actividad, lo cual también ha sido observado en otras partes del mundo (Nurse-Bray et al. 2013).

Ahora bien, debido a que se debe definir lo que constituye "peligroso" no es una cuestión científica, sino más bien un juicio de valor, la identificación de tales umbrales se complica por la naturaleza relativa y subjetiva del riesgo y su variación en el significado entre las poblaciones humanas (Dessai et al. 2003).

Los cambios temporales de los forzamientos dinámicos a los que está expuesto un puerto, pueden ser relevantes para distintas áreas y actividades del mismo. La consideración de la realidad no estacionaria de las acciones debe ser tomada en cuenta en el diseño y la gestión de los riesgos asociados a infraestructuras tan singulares por su importancia económica y largas vidas útiles como es en el caso de los puertos (Vicuña et al. 2013).

En cuanto a cómo reducir los impactos en la actividad portuaria se pudo identificar dos aspectos, el primero en función de la infraestructura y el segundo en función de los procesos. En el primer caso, esta nueva infraestructura debiese estar diseñada principalmente para reducir el impacto relacionado con el oleaje y los vientos, los cuales pueden ser aplicados de manera rápida y simple en el Puerto de San Antonio.

En el caso de Quintero esto es diametralmente distinto ya que dadas sus particularidades geográficas, la adaptabilidad de la infraestructura es compleja de abordar, e implicaría una obra de infraestructura quizás nunca antes vista en nuestro país.

En cuanto a los procesos, podemos sugerir que una herramienta factible es vincular aspectos de cambio climático en las políticas de control de riesgo, las cuales son aplicadas por la industria portuaria actualmente y se relacionan fácilmente con los instructivos entregados por la autoridad marítima en materias de seguridad.

Ahora bien, a pesar de esta evidente falta de capacidad de adaptación del sistema portuario, las condiciones geográficas de cada lugar, originan que la vulnerabilidad aun sea considerada baja. Esto más bien puede ser alarmante a largo plazo, cuando las condiciones de cambio climático sean mayores y no exista tiempo para iniciar obras de adaptabilidad de gran envergadura, lo que puede dañar la competitividad económica de Chile en los mercados globalizados.

El país requiere hacer esfuerzos adicionales para mejorar los sistemas de observación y medición de variables oceanográficas disponibles actualmente, con el objeto de aumentar la cobertura y resolución de esta información. De esta manera se estará en condiciones de cuantificar en forma más precisa las potenciales consecuencias del cambio climático en las costas de Chile y así anticipar medidas de adaptación adecuadas.

CAPITULO 7. CONCLUSIONES.

En el presente trabajo la aplicación del modelo DPSIR permitió identificar las principales forzantes cuyas presiones e impactos sería relevantes para la actividad portuaria. En base a dicho análisis se pudo determinar que los principales impactos detectados en la actividad portuaria son aquellos relacionados con los cambios en la intensidad y dirección del oleaje, intensidad y duración de temporales y cambios nivel del mar. Sin embargo, el efecto de estas presiones varía en número y tipos de impactos registrados, en función de la zona de influencia del puerto.

Por otra parte, del análisis DPSIR se desprende que si bien teóricamente el concepto de Temporal o Tormentas debiese ser considerada más bien una presión ambiental, su comportamiento, así como la influencia que esta tiene en otras presiones nos permite sugerir que esta debe ser considerada más bien como forzante, y se deben guiar todos los aspectos relacionados con el mejoramiento de infraestructura y procesos a reducir el impacto que origina esta forzante.

En cuanto al impacto observado en ambas bahías por separado, se pudo determinar que en el caso de San Antonio, debido a la cercanía de este con la desembocadura del río Maipo, existe mayor probabilidad de impactos en la zona infraestructura auxiliar y acceso y redes de conexión con el interior, debido a que existe un mayor potencial de riesgo por inundación y cortes de camino.

En relación a la evaluación del riesgo se concluye que en el caso de San Antonio las consecuencias son mayores que en Quintero, clasificándose en un Nivel de Riesgo R3, para lo cual es recomendable evaluar acciones tendientes a minimizar el riesgo. Para el caso de Quintero, esta fue clasificado R2, nivel en el cual se recomienda realizar un seguimiento de las forzantes, pero aun no evaluar acciones hasta no tener mayor información.

En cuanto a la adaptabilidad, el presente trabajo determino que esta es más bien baja, debido a la falta de herramientas económicas para abordar el tema. De hecho, en el presente análisis se pudo identificar que actualmente existe infraestructura y tecnologías

que pueden mitigar los impactos y personal capacitado a nivel nacional para disminuir los impactos, no se observan políticas tendientes a mejorar esta temática.

En relación al análisis de vulnerabilidad para ambos sistemas portuarios se pudo determinar que esta es baja, atribuyéndose eso si dicho resultado no por un efecto de la adaptabilidad, sino que más bien por el nivel de riesgo que las forzantes tienen sobre la operatividad.

En cuanto a los mecanismos que permiten abordar los impactos, se pudo determinar que estos podían ser divididos en dos aspectos, uno relacionado a la infraestructura y el segundo relacionado a los procesos.

En el primer caso, existen herramientas tecnológicas que permitirían hacer frente a dichos impactos relacionados con el oleaje y el viento, los cuales se intensifican por efectos de las tormentas. Sin embargo en el caso de San Antonio se pudo evidenciar la factibilidad de su aplicación.

En relación a los procesos, existen herramientas vinculadas principalmente a la aplicación de la norma ISO 31000 la cual busca minimizar el riesgo en las operaciones. Esta normativa es bastante simple de aplicar y estaría en concordancia con los instructivos entregados por la autoridad marítima en materias de seguridad.

Finalmente, podemos mencionar que si bien ambos sistemas portuarios difieren en relación a diversos aspectos, es necesario que aborden aspectos relacionados al cambio climático con prontitud, pues de no hacerlo verán comprometida su competitividad, lo que impacta no solo en las operaciones de la industria, sino que puede afectar la actividad comercial del País.

CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFÍA.

- Adger WN, Hughes TP, Folke C, Carpenter SR, Rockstro J (2005) Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters. *Science* (80-) 309:1036–1039
- Albrecht F, Shaffer G (2016) Regional Sea-Level Change along the Chilean Coast in the 21st Century. *J Coast Res* 322:1322–1332
- Alfonso Aburto F, Figueroa-Fábrega L (2017) Diseño de un programa de monitoreo ambiental utilizando el modelo DPSIR en zonas costeras marinas de múltiples usos: El caso de bahía Quintero. *An del Mus Hist Nat Valparaíso* 30:55–60
- Baldwin C, Lewison RL, Lieske SN, Beger M, Hines E, Dearden P, Rudd MA, Jones C, Satumanatpan S (2016) Using the DPSIR framework for transdisciplinary training and knowledge elicitation in the Gulf of Thailand. *Ocean Coast Manag* 134:163–172
- Barbier EB (2014) A global strategy for protecting vulnerable coastal populations. *Science* (80-) 345:1250–1251
- Becker E (2012) Social-Ecological Systems as Epistemic Objects. *Human-Nature Interact Anthr Potential Soc Syst Anal*:37–59
- Bertalanffy L Von (1993) *Teoría general de los sistemas*. Fondo de Cultura Económica, Ciudad de Mexico, Mexico.
- Borja A, Solaun O, Galparsoro I, Tello EM, Muxika I, Valencia V, Bald J, Manzanos A (2004) Caracterización de las presiones e impactos en los estuarios y costa del País Vasco.
- Boyer J, Browder J, Goodman P, Hitchcock G, Lee T, Milbrandt E, Gayanilo F, Lee D, Marshall F, Nuttle W (2012) Integrated conceptual ecosystem model development for the southwest florida shelf coastal marine ecosystem. *NOAA Tech Rep*:54
- Bradley P, Yee S (2015) Using the DPSIR Framework to Develop a Conceptual Model : Technical Support Document. US Environ Prot Agency, Off Res Dev t, Atl Ecol Div Narragansett, PI EPA/600/R-:82
- Brugère C, Young C De (2015) Assessing climate change vulnerability in fisheries and aquaculture. Available methodologies and their relevance for the sector.
- Cárcamo F, Espinoza C, Silva C, Vargas V, Aguilera J, Lastra J, Letelier J, Pinilla E, Wilson Á, Ariz L, Grego E, Figueroa L, Oliva D, Durán R, Vera R, Trujillo H, Romero P, Sfeir

- R (2016) Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Inst Fom Pesq Valparaíso:711
- Castro R (1998) Definición de aptitud portuaria del litoral de la comuna de Puchuncavi. In: Plan de desarrollo sustentable para la comuna de Puchuncavi.p 4–98
- Cave RR, Andrews JE, Jickells T, Coombes EG (2005) A review of sediment contamination by trace metals in the Humber catchment and estuary , and the implications for future estuary water quality. *Estuar Coast Shelf Sci* 62:547–557
- Cave RR, Ledoux L, Turner K, Jickells T, Andrews JE, Davies H (2003) The Humber catchment and its coastal area: From UK to European perspectives. In: *Science of the Total Environment*.
- CEPAL (2012) *La Economía del Cambio Climático en Chile*. :134
- Cifuentes LA, Meza FJ (2008) Cambio climático : consecuencias y desafíos para Chile
Cambio climático : consecuencias y desafíos para Chile. *Temas la Agenda Publica*, Pontif Univ Catol Chile 3:22
- Clim C (2010) Vulnerabilidad y adaptación al cambio Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Washington, DC
- CONAMA (2008) Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. :76
- Constanzo V (1996) Analisis geomorfologico, hidrologico y climatico generales. In: Diagnostico para la formulacion de un plan de ordenamiento ambiental en la comuna de Quintero comuna de Quintero.p 160–164
- Contreras M, Mellado C, Ramos R, Mar Bustos M del, Pastenes P, Dúran D, Varas L, Sepúlveda E, Martín M, Saavedra M, Larrea O, Jara O, Veas P, Bahamondes P, Serey I, Labbé M, Alvarado G, González J, Meruane C, Baladrón F, Encina F, Figueroa D, González K, Aguayo C, Soto C, Méndez E, Guerrero M (2013) Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. :380
- Cook LM (2014) Morph frequency in British *Cepaea nemoralis*: What has changed in half a century? *J Molluscan Stud* 80:43–46
- Cook GS, Fletcher PJ, Kelble CR (2014) Towards marine ecosystem based management in South Florida : Investigating the connections among ecosystem pressures , states , and

- services in a complex coastal system. *Ecol Indic* 44:26–39
- Delgado LE, Marin VH, Tironi A, Bachmann P (2008) Conceptual, PHES_System, Models of the Aysen Fjord: The Case of Salmon Farming. In: Neves R, Baretta J., Mateus M (eds) *Perspectives on Integrated Coastal Zone Management in South America*, IST Press.p 1–4
- Dessai S, Adger WN, Hulme M, Turnpenny J, Köhler J, Warren R (2003) An Editorial Essay 1 . External Definitions of Danger The Delhi Declaration on Climate Change and Sustainable Development , which emerged in October 2002 from the Eighth Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Chang. *Environment* 64:11–25
- Duarte CM, Dennison WC, Orth RJW, Carruthers TJB (2008) The Charisma of Coastal Ecosystems : Addressing the Imbalance. *Perspect Estuar Coast Sci* 31:233–238
- Eakin H, Luers AL (2006) Assessing the Vulnerability of Social-Ecological Systems. *Annu Rev Environ Resour* 31:365–94
- Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokono Y (2014) Cambio climático 2014. Resum para las Responsab Polit:33
- Elliott M (2002) The role of the DPSIR approach and conceptual models in marine environmental management: An example for offshore wind power. *Mar Pollut Bull* 44:3–7
- Enayatmehr M, Azad MT (2015) Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling. *Int J Sci Res* 4:796–804
- Figuroa-Fábrega L (2016) Mortalidad masiva de invertebrados en la zona de Ventanas julio 2016 final. Valparaiso
- Garreaud RD (2011) Cambio climático: bases físicas e impactos en Chile. *Rev Tierra Adentro – INIA*:1–14
- Gomis D, Álvarez E (2016) Vulnerabilidad de los puertos españoles ante el cambio climático. :34
- Grawe M (2016) Niveles de Metales Pesados en Peces Bentónicos Costeros de la Bahía de Quintero y Cachagua , Chile Central. Universidad de Viña del Mar
- Hajek E, Nazar J, Castri F Di (1966) Determinación para Chile de algunas analogias bioclimaticas mundiales,. *Boletind del Inst Hig y Fom la Prod Univ Chile*

- Hobday AJ, Smith ADM, Stobutzki IC, Bulman C, Daley R, Dambacher JM, Deng RA, Dowdney J, Fuller M, Furlani D, Griffiths SP, Johnson D, Kenyon R, Knuckey IA, Ling SD, Pitcher R, Sainsbury KJ, Sporcic M, Smith T, Turnbull C, Walker TI, Wayte SE, Webb H, Williams A, Wise BS, Zhou S (2011) Ecological risk assessment for the effects of fishing. *Fish Res* 108:372–384
- Hormazabal M (2016) Zonas de acumulación de metales pesados en sedimento submareal , columna de agua y organismos bentónicos de la bahía de Quintero , Chile. Universidad de Viña del Mar
- IMPRESS (2000) Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000 / 60 / EC): Guidance Document: 3. Analysis of Pressures and Impacts. Luxembourg
- IMPRESS (2003) Guidance for the analysis of Pressures and Impacts In accordance with the Water Framework Directive .Directors, Water, Water Directors, and W F D Circa. 2003. “Guidance for the Analysis of Pressures and Impacts In Accordance with the Water Framework Direc.
- Jadrijevic M, Santis G, Muck KP, Farias F (2014) PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO.
- Joop F, Breckling B, Reuter H, DeAngelis D (2011) Perspectives in Ecological Modelling. In: Joop F, Reuter H, Breckling B (eds) *Modelling Complex Ecological Dynamics: An introduction into Ecological Modelling*. Springer, Heidelberg, Germany, p 341–348
- Kelble CR, Loomis DK, Lovelace S, Nuttle WK, Ortner PB, Fletcher P, Cook GS, Lorenz JJ, Boyer JN (2013) The EBM-DPSIR Conceptual Model : Integrating Ecosystem Services into the DPSIR Framework. *PLoS One* 8:e70766
- Laboratorio de Modelacion Ecologica L (2016) Modelación Conceptual y Dinamica. Santiago de Chile
- Lookingbill TR, Gardner ÆRH, Townsend PA, Carter ÆSL (2007) Conceptual Models as Hypotheses in Monitoring Urban Landscapes. *Environ Manage* 40:171–182
- Miller D, Woodward A (1999) Conceptual Models for Landscape Monitoring. In: Miller BDM, Finn SP, Woodward A, Torregrosa A, Miller ME, Bedford DR, Brasher AM, Miller BDM, Finn SP, Woodward A, Torregrosa A (eds) *Conceptual Ecological Models to Guide Integrated Landscape Monitoring of the Great Basin*.p 1–12

- MinAmbiente - Invemar - MinTransporte (2017) PLAN DE GESTIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LOS PUERTOS MARÍTIMOS DE COLOMBIA. Bogota
- Ministerio de Medioambiente (2014) Plan Nacional de Adaptacion al Cambio Climatico.
- Ministerio del Medio Ambiente (2016) Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- Nicholls RJ, Burkett V, Codignotto J, Hay J, McLean R, Ragoonaden S, Woodroffe CD (2007) Coastal systems and low-lying areas Coordinating Lead. In: Parry LM, Canziani OF, Palutikof JP, Liden PJ van der, Hanson CE (eds) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, p 315–356
- Nicholls R, Wong P, Burkett V, Codignotto J, Hay J, McLean R, Ragoonaden S, Woodroffe C (2007) Coastal systems and low-lying areas. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contrib Work Gr II to Fourth Assess Rep Intergov Panel Clim Chang* ML Parry, OF Canz JP Palutikof, PJ van der Linden CE Hanson, Eds, Cambridge UK Univ Press Cambridge, UK,:315–356
- Niemeijer D, Groot RS De (2008) Framing environmental indicators : moving from causal chains to causal networks. *Environ Dev Sustain* 10:89–106
- Nursey-Bray M, Blackwell B, Brooks B, Campbell ML, Goldsworthy L, Pateman H, Rodrigues I, Roome M, Wright JT, Francis J, Hewitt CL (2013) Vulnerabilities and adaptation of ports to climate change. *J Environ Plan Manag* 56:1021–1045
- Ogden JC, Davis SM, Jacobs KJ, Barnes T, Fling HE (2005) The Use of Conceptual Ecological Models to guide Ecocystem Restauration in South Florida. *Wetlands* 25:795–809
- Organizacion de las Naciones Unidas O (2015) UN Climate Chief: IPCC Science Underlines Urgency to Act Towards a Carbon Neutral World.
- Parra S, Bravo MA, Quiroz W, Moreno T, Karanasiou A, Font O, Vidal V, Cereceda F (2014) Distribution of trace elements in particle size fractions for contaminated soils by a copper smelting from different zones of the Puchuncaví Valley. *Chemosphere* 111:513–521
- Pocock MJO, Newson SE, Henderson IG, Peyton J, Sutherland WJ, Noble DG, Ball SG,

- Biggs J, Brereton T, Bullock DJ, Buckland ST, Edwards M, Eaton MA, Harvey MC, Hill MO, Horlock M, Hubble DS, Julian AM, Mackey EC, Mann DJ, Marshall MJ, Medlock JM, Mahony EMO, Pacheco M, Porter K, Procter DA, Roy HE, Southway SE, Shortall CR, Stewart AJA, Wembridge DE, Wright MA, Roy DB, Ecology C, Building M, Lane B, Gifford C (2015) Developing and enhancing biodiversity monitoring programmes : a collaborative assessment of priorities. *J Appl Ecol* 52:686–695
- Polanco C (2006) Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones. *Gest y Ambient* 9:27–42
- Romo H, Alveal K (1977) Las comunidades del litoral rocoso de Punta Ventanilla, Bahía de Quintero. *Gayana (Concepción)* 6:1–41
- Scott H, McEvoy D, Chhetri P, Basic F, Mullett J (2013) Climate change adaptation guidelines for ports: Enhancing the resilience of seaports to a changing report series. Melbourne, Australia
- Semeoshenkova V, Newton A, Rojas M, Piccolo MC, Huamantínco MA, Berninsone LG, Luj M (2016) A combined DPSIR and SAF approach for the adaptive management of beach erosion in Monte Hermoso and Pehuen Co (Argentina). *Ocean Coast Manag* in press:1–11
- Solomon S, Qin D, Manning M, Chen, Z. Marquis, M. Averyt K, Tignor T, Miller H (2007) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Vargas C a., Martínez R a., San Martín V, Aguayo M, Silva N, Torres R (2011) Allochthonous subsidies of organic matter across a lake-river-fjord landscape in the Chilean Patagonia: Implications for marine zooplankton in inner fjord areas. *Cont Shelf Res* 31:187–201
- Vera R, Figueroa L, Ariz A (2016) Caracterización Química de Bahía Quintero. In: Carcamo F, Letelier J (eds) *Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región”del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región”.* Instituto de Fomento Pesquero, Valparaíso, p 421–515

- Vicuña S, Losada I, Cifuentes LA, Beya J (2013) Marco estratégico para la adaptación de la infraestructura al cambio climático. :156
- Waelbroeck C, Labeyrie L, Michel E, Duplessy JC, Mcmanus JF (2002) Sea-level and deep water temperature changes derived from benthic foraminifera isotopic records. 21:295–305
- Yáñez E, Lagos NA, Norambuena R, Silva C, Letelier J, Muck K-P, Martin GS, Benítez S, R. Broitman B, Contreras H, Duarte C, Gelcich S, Labra FA, Lardies MA, Manríquez PH, Quijón PA, Ramajo L, González E, Molina R, Gómez A, Soto L, Montecino A, Barbieri MÁ, Plaza F, Sánchez F, Aranís A, Bernal C, Böhm G (2017) Impacts of Climate Change on Marine Fisheries and Aquaculture in Chile.

CAPITULO 9. ANEXOS.

9.1. Aspectos que deben ser incluidos y abordados en los planes de Riesgo de Actividades Portuarias.

9.1.1. Aspectos relacionados al Transporte y Almacenamiento Materiales Peligrosos

9.1.1.1. Transporte.

- El transporte de líquidos, tales como combustible y otros que se puedan requerir en faenas, se regirán por las disposiciones de la legislación vigente, materia que será especificada en los contratos.
- Se llevará un registro en obra que permita cuantificar las cantidades recibidas, utilizadas y en stock. Asimismo, el transportista deberá llevar un registro de las cantidades que transporta, documento que será revisado al ingreso a la obra.
- El Proyecto proveerá todos los recursos que aseguren un transporte adecuado para este tipo de elementos. A su vez, los caminos de acceso a las obras contarán con una señalización clara y visible, tanto para el día como para la noche.

9.1.1.2. Almacenamiento

El almacenamiento de productos inflamables, corrosivos u otros potenciales de causar daños se harán considerando las siguientes exigencias mínimas:

- Se dispondrá de un área especial de almacenamiento para estos materiales, la cual deberá estar debidamente señalizada y contará con las estructuras de contención para evitar potenciales derrames que impacten los suelos y las aguas.
- Los tambores de combustibles y aceite se dispondrán sobre pallets de madera u otros dispositivos que eviten el contacto directo entre los tambores y el suelo.
- Se dispondrá, en esta área, de elementos que permitan la contención de derrames pequeños y medianos (esponjas, pigtail, etc.).
- La carga de combustible a maquinarias y equipos se hará en áreas previamente

definidas.

9.1.1.3. Riesgos Operacionales y Estructurales

La prevención de los riesgos de estructurales y de operación considerará las siguientes actividades:

- Una evaluación de riesgos a cargo de especialistas en Prevención de Riesgos para infraestructura portuaria
- El establecimiento de requisitos de niveles de seguridad para cada uno de los sistemas críticos.
- La revisión de los procedimientos escritos de operación, inspección y mantenimiento, por parte de un asesor externo de manera de minimizar la posibilidad de errores humanos.
- Se aplicará un procedimiento de identificación de materiales a lo largo de la vida útil del Puerto, como medida precautoria contra el uso inadvertido de materiales no adecuados.
- Se desarrollarán planes de inspección y de mantenimiento predictivo y preventivo según el tipo de riesgo identificado, de manera de asegurar que a cada equipo e instalación se le está dando la protección adecuada para asegurar su seguridad y su confiabilidad.
- Cada vez que se haga algún cambio operacional o mecánico se realizarán previamente análisis de riesgo, de manera de asegurar su seguridad y su confiabilidad.
- Se desarrollarán planes de emergencia generales y específicos. Serán desarrollados en coordinación con las autoridades locales (bomberos, guardia costera y carabineros) y distribuidos por escrito.

Estos planes serán revisados con personal clave y se harán simulacros periódicamente. Se desarrollarán procedimientos escritos para las operaciones marítimas en el área de influencia del Puerto. Estas operaciones serán fiscalizadas por la Capitanía de Puerto e incluirán procedimientos claros y precisos, instrucciones

e información crítica, junto con roles y responsabilidades claramente definidos para el personal y para la Autoridad.

- El Puerto tendrá los elementos necesarios para prevenir, detectar y controlar cualquier potencial situación de emergencia que pudiera manifestarse durante la vida útil del puerto. Estos elementos incluyen: - Equipos de detección y alarma de incendio - Equipos para el combate de incendios - Elementos portátiles de control del tránsito (conos, señalética, barreras, etc.).

9.2. Plan de Contingencia ante Fenómenos Naturales

Los riesgos asociados a fenómenos naturales se refieren a posibles sismos y para ello el Plan de Emergencia y Contingencia debe velar por prevenir pérdidas de vidas humanas, lesiones en personal del puerto y contratistas, y proteger la propiedad para evitar daños a las instalaciones y equipos.

Según la zonificación establecida por la NCh 433, el área en estudio está inserta en la zona sísmica 3, la que corresponde a la costa de Chile y que presenta el mayor riesgo sísmico en el país.

Ante esto, la principal función de la Brigada de Emergencia es la de coordinar la evacuación del personal desde las distintas áreas del puerto hacia las zonas de seguridad identificadas en cada frente de trabajo.

Todas aquellas personas que realicen alguna actividad en el recinto portuario, ya sea en forma permanente o como contratistas esporádicos estarán en pleno conocimiento del procedimiento de evacuación, identificación de las Zonas de Encuentro de Emergencia, así como del personal integrante de la Brigada de Emergencia.