

ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE ARRIBO, TÉRMINO Y DURACIÓN DE LOS AVISOS OFICIALES DE MAREJADAS EN LAS COSTAS DE CHILE

Autor: Alex Lara Yergues

Profesora Guía: Catalina Aguirre Galaz

ENERO 2023

“ANÁLISIS DE LOS TIEMPOS DE ARRIBO, TÉRMINO Y DURACIÓN DE LOS AVISOS OFICIALES DE MAREJADAS EN LAS COSTAS DE CHILE”

Alex Mauricio Lara Yergues

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

PATRICIO WINCKLER

MAURICIO REYES

SERGIO BIDART

AGRADECIMIENTOS

Llegar al final de este camino ha sido reflejo de mucho sacrificio y esfuerzo, pero no solo mío, sino de todos quienes me rodean, siendo este título parte de cada uno de ellos, por lo que mis agradecimientos van para....

En primer lugar, a Dios por darme una segunda oportunidad, por ayudarme y rodearme de personas maravillosas. A todos mis profesores, que con su paciencia, motivación y apoyo, sembraron el conocimiento que hoy dio frutos. A Yasna por siempre estar presente con más de un consejo. A mis compañeros con quienes viví lindos momentos y fueron parte importante de este proceso. A aquellos con los que inicié este desafío, pero que tomaron otros caminos.

A mis abuelas/os, tías/os, primas/os, a mi familia en general.

A mis hermanos y cuñada, de quienes no puedo estar más agradecido, porque su apoyo fue monumental e incondicional. Fueron artífices de que hoy esté cumpliendo un sueño.

A mi esposita, confidente y compañera de vida, de quién jamás podré terminar de agradecer el apoyo y sacrificio realizado, sobre todo en este último tiempo con nuestro querubín, quién nos ha robado el corazón.

Finalmente a mis padres, quienes después de 30 años pueden disfrutar y estar orgullosos de lo que sembraron durante décadas. Porque fui testigo de su inmenso sacrificio, de sus lágrimas y risas. Solo agradecerles todo el amor, dedicación y apoyo brindado durante todo este tiempo. ¡Esto es principalmente de ustedes!

¡Gracias Totales!

ÍNDICE

1	RESUMEN.....	10
2	INTRODUCCIÓN.....	11
3	OBJETIVOS	13
3.1	OBJETIVO GENERAL	13
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4	ALCANCES Y LIMITACIONES	14
4.1	ALCANCES.....	14
4.2	LIMITACIONES.....	14
5	MARCO TEÓRICO	15
5.1	OLEAJE Y MAREJADAS	15
5.1.1	CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE	15
5.1.2	CARACTERIZACIÓN DEL OLEAJE.....	16
5.1.3	DEFINICIÓN DE MAREJADAS.....	17
5.1.4	TENDENCIA AL AUMENTO DE LAS MAREJADAS	18
5.2	CIERRES DE PUERTO EN CHILE	19
6	METODOLOGÍA.....	21
6.1	DEFINICIÓN DE DOMINIO DE INVESTIGACIÓN	22
6.2	BASE DE DATOS	23
6.2.1	AVISOS DE MAREJADAS DE SERVIMET	23
6.2.2	AVISO DE MAREJADAS DEL ATLAS DE OLEAJE Y EL SISTEMA DE ALERTA DE MAREJADAS.....	25
6.2.3	BOYAS	29
6.3	METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN.....	29
7	RESULTADOS	31
7.1	SERVIMET – SAM	31
7.1.1	IQUIQUE.....	33
7.1.2	VALPARAÍSO	36
7.1.3	TALCAHUANO	39
7.1.4	LEBU (GOLFO DE ARAUCO).....	42
7.2	SERVIMET – BOYAS.....	45

7.2.1	IQUIQUE.....	46
7.2.2	VALPARAÍSO	49
7.2.3	TALCAHUANO	52
7.2.4	LEBU (GOLFO DE ARAUCO).....	56
8	DISCUSIÓN.....	59
8.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	59
8.1.1	SERVIMET – SAM.....	59
8.1.2	SERVIMET – BOYAS	60
9	CONCLUSIÓN.....	62
10	ANEXOS.....	63
11	REFERENCIAS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tipos de oleaje. a) Sea; b) Swell.....	15
Figura 2: Parámetros estadísticos de una ola	16
Figura 3: Criterios utilizados por SERVIMET para la emisión de avisos de marejadas y marejadas anormales.	17
Figura 4: Distribución anual de marejadas con daños y/o impactos en las costas de Chile,	18
Figura 5: Cantidad de avisos de marejadas entre los años 2006 y el 2020.....	19
Figura 6: Diagrama resumen de metodología empleada.....	21
Figura 7: Ubicación de nodos en los que hay disponible pronósticos y ubicaciones solicitadas por SERVIMET.....	22
Figura 8: Número de avisos de marejadas emitidos entre el 2010 y 2019.	24
Figura 9: Comparación datos Atlas-SAM Nodo Lebu año 2017	27
Figura 10: Ejemplo donde se supera el umbral de altura de ola y potencia, Coquimbo 15-04-2019.	28
Figura 11: Esquema para determinar los desfases en los tiempos de arribo y término de los avisos de marejadas.	30
Figura 12: Cantidad de avisos que coinciden o no, entre los emitidos por SERVIMET vs SAM.....	32
Figura 13: Comparación de avisos de marejadas en Iquique.....	33
Figura 14: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique.	34
Figura 15: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique	35
Figura 16: Comparación de avisos de marejadas en Valparaíso.	36
Figura 17: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso.	37
Figura 18: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso.	38
Figura 19: Comparación de avisos de marejadas en Talcahuano.....	39
Figura 20: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano.....	40
Figura 21: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano.....	41
Figura 22: Comparación de avisos de marejadas en Lebu.	42
Figura 23: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu.	43
Figura 24: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu.....	44

Figura 25: Cantidad de avisos que coinciden (y no), entre los emitidos por el SERVIMET vs mediciones en boyas.....	45
Figura 26: Comparación de avisos de marejadas en Iquique.....	46
Figura 27: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Iquique.....	47
Figura 28: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Iquique.....	48
Figura 29: Comparación de avisos de marejadas en Valparaíso.	49
Figura 30: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Valparaíso.....	50
Figura 31: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Valparaíso.	51
Figura 32: Comparación de avisos de marejadas en Talcahuano.....	52
Figura 33: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Talcahuano.	53
Figura 34: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Talcahuano.....	55
Figura 35: Comparación de avisos de marejadas en Lebu.	56
Figura 36: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Lebu.....	57
Figura 37: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Lebu.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Costos históricos por paralización operativa producto de marejadas en 7 puertos de Chile	20
Tabla 2: Listado de localidades a analizar.	22
Tabla 3: Primeros 3 avisos de marejadas del año 2018 emitidos por el SERVIMET.	23
Tabla 4: Formato de data procesada	25
Tabla 5: Formato de datos del Sistema de Alerta de Marejadas	26
Tabla 6: Criterio SAM utilizado para los Pronósticos UV.	27
Tabla 7: Base de datos disponible de boyas para periodo de estudio.	29
Tabla 8: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Iquique.	34
Tabla 9: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Iquique.	35
Tabla 10: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Valparaíso.	37
Tabla 11: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Valparaíso.	38
Tabla 12: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Talcahuano.	40
Tabla 13: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Talcahuano.	41
Tabla 14: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Lebu.	43
Tabla 15: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Lebu.	44
Tabla 16: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Iquique.	47
Tabla 17: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Iquique.	48
Tabla 18: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Valparaíso.	50
Tabla 19: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Valparaíso.	51
Tabla 20: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Talcahuano.	53

Tabla 21: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Talcahuano.	55
Tabla 22: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Lebu.....	57
Tabla 23: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Lebu.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Documentos utilizados en este proyecto.....	63
--	----

1 RESUMEN.

Las marejadas son eventos de oleaje extremo que afectan las costas de Chile de forma recurrente, provocando el cierre parcial de puertos y actividades en la costa.

Estas han aumentado en frecuencia en las últimas décadas y se espera que su incremento tanto en frecuencia como en altura significativa continúe en las próximas décadas, se requiere buscar posibles soluciones para mitigar los tiempos en que los puertos hacen cese de operaciones producto de los avisos de marejadas.

El presente estudio tiene la finalidad de analizar las diferencias existentes en los pronósticos realizados por el Servicio Meteorológico de la Armada y el Sistema de Alerta de Marejadas, donde además se utilizan mediciones in situ mediante boyas, para posteriormente cuantificar dichas diferencias que permitan conocer y estimar la posibilidad de reducir los tiempos de avisos de marejadas entregados por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Para esto, se definieron 23 localidades de estudio en donde mediante una recopilación de datos y posterior tratamiento, se hace uso de una rutina de MATLAB para efectuar comparaciones entre las bases de datos.

Los resultados indican que SERVIMET sobrestima las duraciones de las marejadas, por lo que efectúa avisos con tiempos muy extensos respecto a lo pronosticado por el Sistema de Alerta de Marejadas y lo medido en las boyas.

Se espera que con estos resultados, las entidades competentes que deseen hacer uso de este documento puedan elaborar procedimientos que permitan un análisis más preciso en cuanto a los pronósticos de las marejadas. Un factor a considerar sería que los avisos fueran efectuados por localidad y no por tramos como se efectúa actualmente, ya que no se considera el tiempo que demora el evento en llegar a las localidades más distantes de su zona de generación.

2 INTRODUCCIÓN

Las marejadas son eventos extremos de oleaje que afectan el uso y operación habitual en las costas de Chile. Su impacto ha generado perjuicios en el sector económico vinculado con la zona costera (Winckler et al., 2017), traduciéndose en pérdidas materiales dada la detención de actividades económicas en dicho sector (Winckler et al., 2022). Un caso emblemático es el tiempo de operatividad de los puertos, ya que cuando estos se enfrentan a avisos de marejada y/o temporal, dispuestos por la Autoridad Marítima, deben hacer cese de sus operaciones. Su impacto radica en que, al no operar la estiba y desestiba de las naves atracadas, se genera una pérdida económica en dicha área (CAMPORT, 2021).

El aumento en la frecuencia de las marejadas que se ha registrado en las últimas décadas (Winckler et al., 2020), junto a la proyección de que el cambio climático sería potencial responsable del aumento en la frecuencia de las marejadas, así como también de los aumentos de las alturas significativas de las olas (Lobeto et al., 2021), motiva la realización de un análisis comparativo entre los tiempos de duración de las marejadas cuyos datos han sido medidos y/o modelados, para posteriormente contrastarlos con la duración de los avisos especiales de marejadas entregadas por el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile.

Con el propósito de analizar las diferencias existentes en los pronósticos realizados por el Servicio Meteorológico de la Armada (en adelante SERVIMET) y el Sistema de Alerta de Marejadas (en adelante SAM), donde además se complementa con mediciones in situ mediante boyas, es que se realiza un análisis comparativo de los avisos de marejadas realizados por el SERVIMET entre 2010 y 2019 con los generados por SAM entre octubre de 2016 y 2019. Es por esto que, SERVIMET ha hecho entrega de un listado de sitios de interés donde busca generar avisos de marejadas para el 2020, los cuales se contrastan con los empleados actualmente en el Sistema de Alerta de Marejadas. De manera complementaria, se realizará una revisión de los avisos que se hubieran generado empleando la información del Atlas de Oleaje de Chile (Beyá et al, 2016), generado por la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, cuya extensión abarca desde 1979 hasta 2017.

Dado lo anterior, es que este proyecto presenta un análisis comparativo de las ventanas existentes entre los tiempos de arribo y término de las marejadas que afectan las costas de Chile, respecto a la duración de los avisos oficiales de éstas, dispuestos por la Autoridad Marítima.

Se espera que este trabajo, realizado bajo el proyecto FONDEF ID20I10404, permita encontrar criterios cuantitativos que permitan reducir los tiempos de duración de los avisos de marejadas de forma objetiva, manteniendo el nivel de seguridad. Esto, con la

intención de que las instituciones competentes puedan utilizar estos resultados para atenuar la paralización injustificada de las operaciones y actividades en la zona costera.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar la duración y tiempo de arribo de los avisos oficiales de marejadas generados por SERVIMET, y comparar estas variables con las que se obtendrían utilizando modelos numéricos y registros de boyas de oleaje.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar tiempos de arribo, término y duración de los avisos de marejadas del SERVIMET.
- Analizar tiempos de arribo, término y duración de las alertas de marejadas del Sistema de Alerta de la Universidad de Valparaíso.
- Analizar tiempos de arribo, término y duración del evento de marejada registrado en boyas.
- Identificar y cuantificar las diferencias obtenidas de las 3 bases de datos.

4 ALCANCES Y LIMITACIONES

En la siguiente sección se plantean los aspectos que se alcanzarán en esta memoria y las principales limitaciones que le enmarcan.

4.1 ALCANCES

El alcance de este proyecto será la comparación y posterior análisis entre tres bases de datos (SERVIMET, SAM y boyas) para cuantificar la existencia de desfases entre los tiempos de arribo y término de los avisos y mediciones de marejadas, así como también su duración.

Esto se efectuará para 23 localidades que abarcan la zona costera de Chile.

Las diferencias serán representadas en horas, resultando desfases negativos (llega antes o termina después el aviso respecto SERVIMET) o positivos (llega después o termina antes el aviso respecto a SERVIMET).

Para definir la presencia de marejadas, se utiliza la escala propuesta por SAM.

4.2 LIMITACIONES

Las limitaciones que se han presentado en esta investigación son:

- Poca cantidad de datos de boyas para el periodo de estudio, así como también para las localidades definidas.

5 MARCO TEÓRICO

En esta sección se exponen y desarrollan los antecedentes y fundamentos teóricos que sustentan este trabajo.

5.1 OLEAJE Y MAREJADAS

5.1.1 CLASIFICACIÓN DEL OLEAJE

Se denomina *fetch* a la región donde existe transferencia de energía del viento hacia la superficie del mar. Ahí, el oleaje se propaga en diferentes direcciones, aunque la dirección dominante es la del viento. Las olas pueden tener diversas características dependiendo de las fuerzas que influyen en su generación (Silva, 2005). De acuerdo con su génesis, se distinguen dos tipos extremos de oleaje, denominados *sea* y *swell*, entre los cuales existen un sinnúmero de estados intermedios.

- **Sea:** Este tipo de oleaje se produce en la zona de generación en alta mar, donde raramente se aprecian crestas de cierta longitud y es difícil observar un periodo bien definido. Este tipo de oleaje se caracteriza por su gran irregularidad, asimetría entre la forma del valle y la cresta de las olas y gran peralte de las olas (las olas presentan una altura relativamente grande para su longitud de onda).
- **Swell:** Cuando el oleaje se propaga y abandona el área de generación pierde energía producto del decaimiento (Losada & Jiménez-Curto, 1978). También experimenta una doble dispersión: la dispersión angular, en la que las olas se dispersan en todas direcciones, y la dispersión radial, debida a que la celeridad se escala con periodo, por lo que las olas más largas viajan más rápido que las más cortas.

Figura 1: Tipos de oleaje. a) Sea; b) Swell



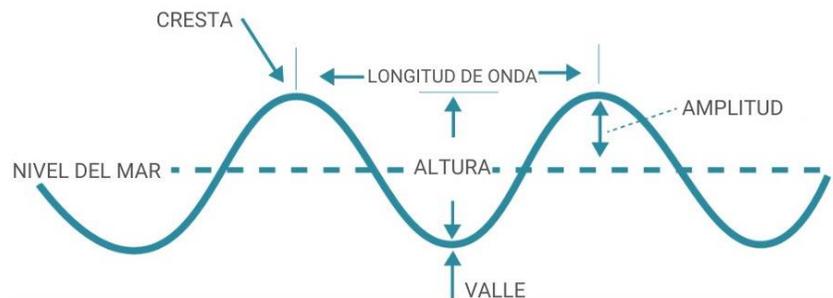
Fuente: (Silva, 2005)

5.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL OLAJE

El oleaje es un fenómeno generado por la acción del viento que transmite energía del aire al agua. Esta interacción permite la formación de olas que se propagan en distintas direcciones y que son caracterizadas a través de parámetros estadísticos como:

- **Altura:** Distancia vertical desde la cresta de la ola hasta el valle.
- **Periodo:** Tiempo que transcurre para que dos crestas consecutivas de una ola pasen por un mismo punto.
- **Dirección:** Hacia dónde se dirige o desde dónde proviene la ola propagándose.

Figura 2: Parámetros estadísticos de una ola



Fuente: (La Oceanoteca, 2021).

Cuando se habla de oleaje se debe considerar su generación y el efecto que causa en el desarrollo de las actividades en la zona costera, así como también su evolución a lo largo de los años. Para visualizar su importancia, es que algunos especialistas manifiestan la necesidad de estudiar su impacto en las actividades portuarias. Por ejemplo,

Winckler et al. (2015) asegura que “En un contexto de cambio climático, el conocimiento de estos agentes (y en particular, el oleaje) es de fundamental importancia para resguardar la seguridad de los asentamientos humanos, reducir los impactos de las obras costeras y garantizar el desarrollo de la industria portuaria”. Específicamente “DIRECTEMAR (2020)”, manifiesta que “La actividad marítima en Chile está siendo afectada por el aumento de eventos de marejadas, que limitan las operaciones de recalada, permanencia y zarpe de naves en los puertos nacionales”. En la misma línea, (CAMPORT, 2021) asegura que las marejadas son responsables de la paralización y disminución en la operatividad de los puertos, trayendo consigo pérdidas económicas significativas.

Finalmente, si se considera el aumento en la frecuencia de las marejadas que se ha registrado en las últimas décadas (Winckler et al, 2020); se hace fundamental comprender dicho fenómeno.

5.1.3 DEFINICIÓN DE MAREJADAS

Las marejadas poseen varias definiciones aceptadas a nivel país, tales como:

- El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) define una marejada como una “ola larga ocasionada generalmente por una tormenta lejana; tienen por lo común varios centenares de metros de longitud” (SHOA, 1992).
- El Atlas de Oleaje de Chile (Beyá et al., 2016) la define como un “evento de oleaje extremo que está asociado al cese de las actividades marítimas y en ocasiones a naufragios y daños en el borde costero”.
- SERVIMET hace uso de términos como “marejadilla”, “marejada” y “gruesa”. En la publicación (SHOA, 2001) correspondiente a la “Carta de Estados de Mar y Escala Beaufort”, se describen dichos términos, en donde se indica que “el criterio del mar está concebido solo para aguas profundas”.
- En el 2016, SERVIMET dio a conocer los criterios que utilizar para emitir avisos de marejadas y marejadas anormales (Figura 3), donde el término “anormal” hace referencia a las marejadas de fuerza excepcional (SERVIMET, 2016b) .

Figura 3: Criterios utilizados por SERVIMET para la emisión de avisos de marejadas y marejadas anormales.

CRITERIOS PARA LA EMISIÓN DE AVISOS DE MAREJADAS				
ORIGEN DEL MAR DE FONDO	DIRECCIÓN DE LAS OLAS OCEÁNICAS	ALTURA DE LAS OLAS EN METROS	PERIODO DE LAS OLAS EN SEGUNDOS	OBSERVACIÓN
OCÉANO PACÍFICO SUR O CAMPO LEJANO	SURWESTE/WESTE	≥ 3,0 Ó 4,0	NO CONDIDERADO	SE PROYECTAN EN FORMA DE ABANICO, BUSCANDO LA PERPENDICULARIDAD DE LA COSTA
CAMPO LEJANO	NORWESTE	> 1,8 E < 2,5	< 18	OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS
CRITERIOS PARA LA EMISIÓN DE AVISOS DE MAREJADAS ANORMALES				
ORIGEN DEL MAR DE FONDO	DIRECCIÓN DE LAS OLAS OCEÁNICAS	ALTURA DE LAS OLAS EN METROS	PERIODO DE LAS OLAS EN SEGUNDOS	OBSERVACIÓN
OCÉANO PACÍFICO SUR O CAMPO LEJANO	SURWESTE/WESTE	≥ 4,0 Ó 6,0	NO CONDIDERADO	SE PROYECTAN EN FORMA DE ABANICO, BUSCANDO LA PERPENDICULARIDAD DE LA COSTA, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA.
CAMPO LEJANO	NORWESTE	≥ 2,5	> 14 y < 18	OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA. SOPREPASAN LA LÍNEA DE COSTA. GENERAN INUNDACIONES.
CAMPO LEJANO	NORWESTE	≥ 2,0	≥ 18	OLAS INGRESAN DIRECTAMENTE AL INTERIOR DE BAHÍAS, GENERANDO POTENCIALES DAÑOS A LA INFRAESTRUCTURA COSTERA. SOBREPASAN LA LÍNEA DE COSTA. GENERAN INUNDACIONES.

Fuente: (SERVIMET, 2016b).

Hay que mencionar que su definición se realiza de acuerdo con sus efectos en la costa (SERVIMET, 2016b), según lo siguiente:

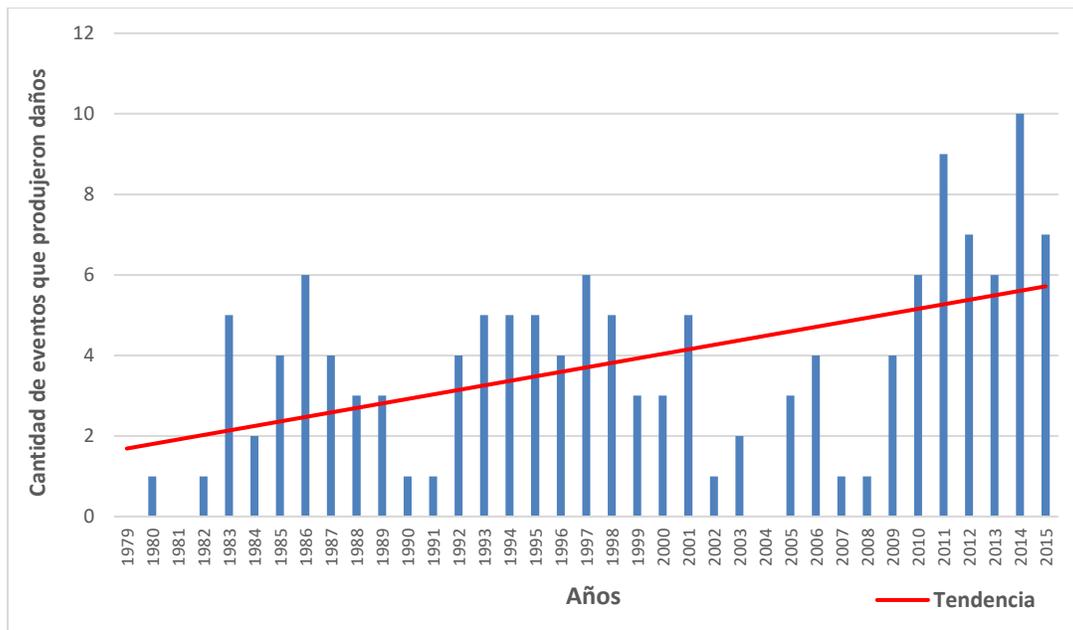
- Evento de Marejadas: Generan rompiente en el borde costero, que no sobrepasan la línea de la costa.
- Evento de Marejadas Anormales: Generan fuerte rompiente en el borde costero, potenciales daños a la infraestructura e inundaciones costeras.

Finalmente, si bien estas definiciones describen el fenómeno en cierto nivel, se asume que las marejadas son eventos de olas de gran altura producidas por la combinación del oleaje extremo con fenómenos como la marea astronómica y la marea meteorológica.

5.1.4 TENDENCIA AL AUMENTO DE LAS MAREJADAS

Las marejadas son un fenómeno que se presenta de manera habitual en las costas de Chile. La Figura 4, detalla el aumento existente en la cantidad de marejadas que provocaron algún impacto en las costas de Chile entre los años 1979 y el 2015 (Campos, 2016).

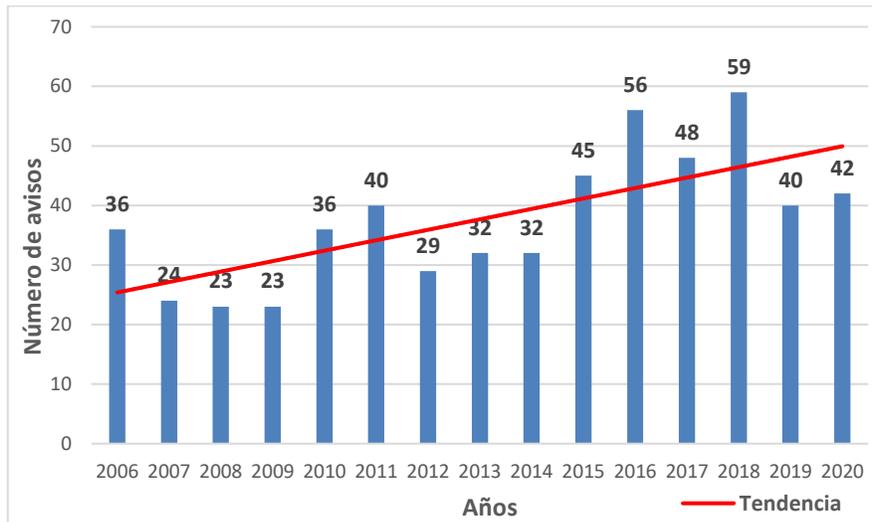
Figura 4: Distribución anual de marejadas con daños y/o impactos en las costas de Chile, (1979- 2015).



Fuente: Elaboración Propia a partir de (Campos, 2016)

Además, SERVIMET ha consolidado una estadística que muestra el aumento en la cantidad de avisos de marejadas entre los años 2006 y el 2020 (Figura 5)

Figura 5: Cantidad de avisos de marejadas entre los años 2006 y el 2020



Fuente: Adaptación de SERVIMET, citado en (CAMPORT, 2021))

5.2 CIERRES DE PUERTO EN CHILE

Cuando existen eventos meteorológicos extremos, los puertos cesan sus actividades de tal forma de garantizar la seguridad de las naves, carga y operadores. El cierre de puertos es una facultad de las Capitanías de Puerto derivada del Reglamento General de Orden, Seguridad y Disciplina en las Naves y Litoral de la República (Art. 151). Lo anterior conlleva una serie de medidas que incluyen la suspensión total o parcial del tránsito o actividades marítimas, el estado de alerta de la Capitanía de Puerto, de los remolcadores de servicio y de los botes salvavidas, entre otros (Marítimo Portuario, 2017).

Los cierres de puertos pueden significar pérdidas económicas, del orden de millones de dólares en el sector. Estudios especializados indican un incremento notorio en los costos históricos por paralización operativa producto de marejadas en los puertos principales del centro y norte del país (Ministerio de Medio Ambiente, 2019).

En los siete puertos estatales estudiados por Winckler et al. (2022), se aprecia un aumento significativo en las pérdidas entre el año 2012 y 2018 producto de marejadas, llegando en este último a más de 17 millones de dólares (Tabla 1).

Tabla 1: Costos históricos por paralización operativa producto de marejadas en 7 puertos de Chile

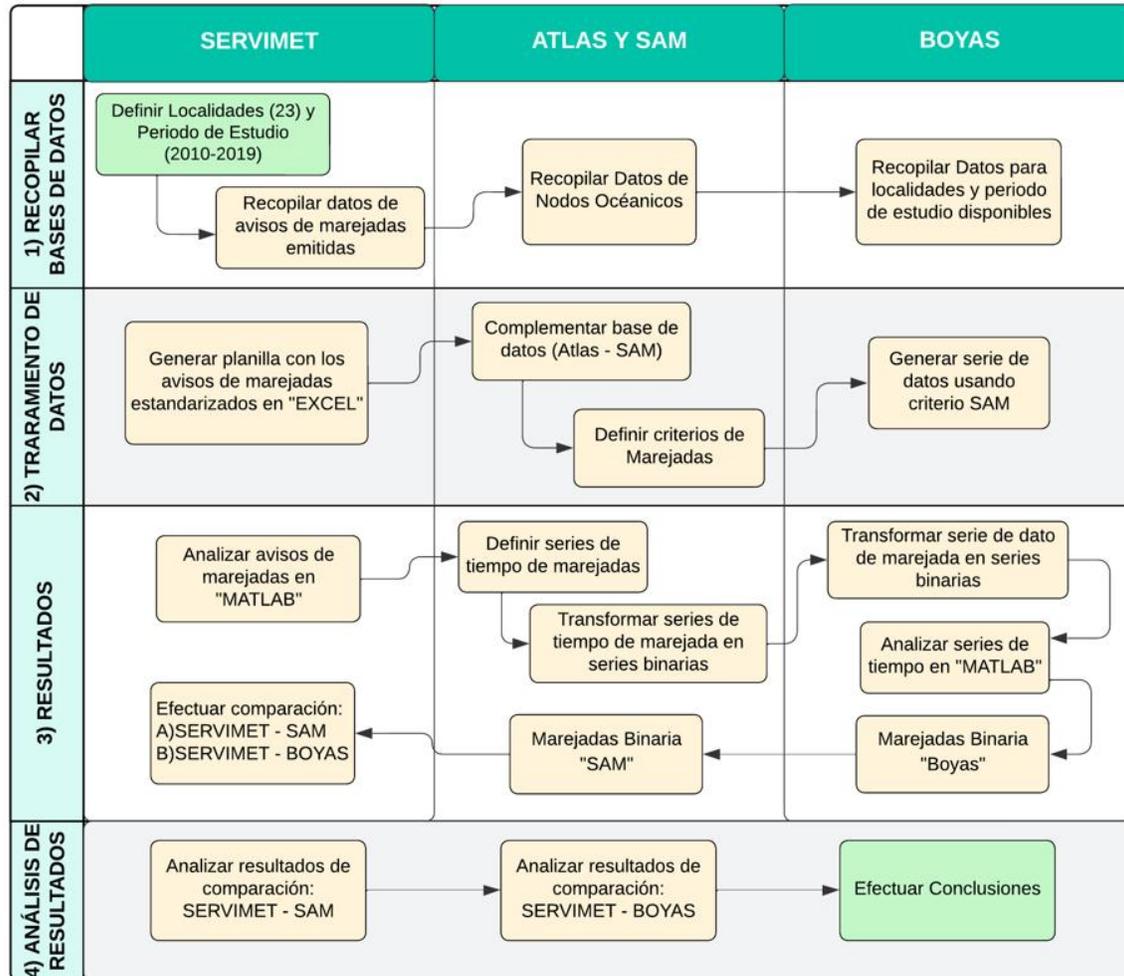
Port	Operator	Type of fee	Annual costs	Average costs per fee	Total average costs						
			2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2012–2018	2012–2018
			US\$	US\$/yr	US\$/yr						
Arica	Terminal Puerto Arica (TPA)	Use of dock	303,526	842,545	962,909	1,287,367	3,134,687	-	6,954,923	1,926,565	2,029,978
		Cargo movement	25,602	36,215	45,046	80,891	172,546	-	363,588	103,413	
Iquique	Empresa Portuaria Iquique (EPI)	Use of dock	225,958	-	370,074	512,410	275,776	78,285	284,672	249,596	283,433
		Cargo movement	36,496	-	48,162	60,708	39,722	10,699	41,069	33,837	
Antofagasta	Empresa Portuaria Antofagasta (EPA)	Use of dock	1,683,769	2,640,099	4,900,802	5,411,890	6,446,609	7,092,524	4,806,737	4,711,776	9,315,473
		Cargo movement	1,930,605	2,748,940	5,286,754	3,318,549	5,498,553	8,254,386	5,188,097	4,603,698	
Coquimbo	Terminal Puerto Coquimbo	Use of dock	-	-	-	88,620	3,545	-	-	13,166	16,129
		Cargo movement	-	-	-	19,851	888	-	-	2,963	
Valparaíso	Puerto Valparaíso	Use of dock	11,068	-	-	51,913	27,167	-	-	12,878	206,946
		Use of dock	81,176	-	-	332,822	202,940	-	-	88,134	
	Terminal Cerros de Valparaíso (TCVAL)	Cargo movement	36,091	-	-	169,282	88,588	-	-	41,994	
		Use of dock	39,810	-	-	163,219	99,524	-	-	43,222	
San Antonio	Panul	Cargo movement	17,805	-	-	83,513	43,703	-	-	20,717	
		Use of dock	-	49,151	49,151	-	68,811	-	-	23,873	59,938
	Puerto Central	Cargo movement	-	12,727	13,887	-	22,368	-	-	6,997	
		Use of dock	-	17,483	17,483	-	24,476	-	-	8,492	
STI	Cargo movement	-	11,049	12,056	-	19,418	-	-	6,075		
	Use of dock	-	17,982	17,982	-	25,175	-	-	8,734		
San Vicente	San Vicente STVI	Cargo movement	-	10,489	11,445	-	18,435	-	-	5,767	60,041
		Use of dock	55,742	-	-	87,595	-	-	-	20,477	
Total costs per year (US\$)			4,527,421	6,386,680	11,735,751	11,865,805	16,212,931	15,435,894	17,639,086		

Fuente: (Winckler et al., 2022).

6 METODOLOGÍA

En la Figura 6 se presenta el resumen de la metodología empleada en este proyecto.

Figura 6: Diagrama resumen de metodología empleada



Fuente: Elaboración Propia

6.1 DEFINICIÓN DE DOMINIO DE INVESTIGACIÓN

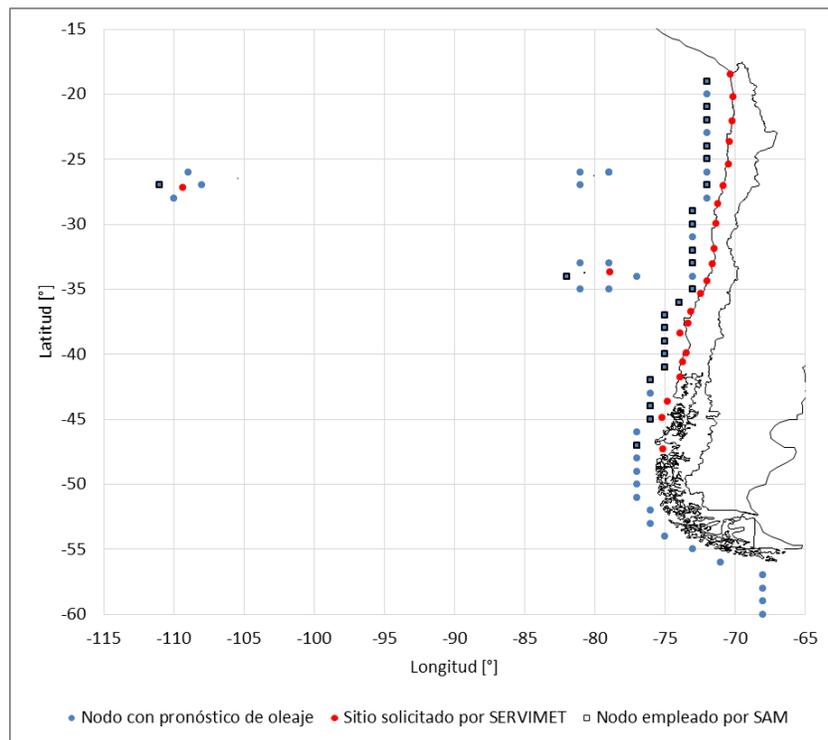
En la Tabla 2 se presentan las localidades a considerar en el análisis de acuerdo con los datos entregados por SERVIMET. La Figura 7 representa la ubicación de los nodos donde existe disponibilidad de pronóstico y aquellas localidades de interés para SERVIMET.

Tabla 2: Listado de localidades a analizar.

1 Arica	8 Coquimbo	15 Isla Mocha (Tirúa)
2 Iquique	9 Los Vilos	16 Corral
3 Tocopilla	10 Valparaíso	17 Bahía Mansa
4 Antofagasta	11 Pichilemu	18 Canal Chacao
5 Taltal	12 Constitución	19 Isla Guafo
6 Caldera	13 Talcahuano (San Vicente)	20 Isla Guambin
7 Huasco	14 Lebu (Golfo de Arauco)	21 Golfo de Penas
	22 A. Juan Fernández	
	23 Isla de Pascua	

Fuente: SERVIMET

Figura 7: Ubicación de nodos en los que hay disponible pronósticos y ubicaciones solicitadas por SERVIMET



Fuente: SAM

6.2 BASE DE DATOS

A continuación, se presentan las bases de datos utilizadas en este estudio, las cuales serán consideradas desde el año 2010 hasta el 2019, debido a que los avisos de marejadas de SERVIMET inician el año 2010.

6.2.1 AVISOS DE MAREJADAS DE SERVIMET

A. DESCRIPCIÓN DE DATOS

SERVIMET es la entidad encargada de emitir los avisos especiales de marejadas, condiciones meteorológicas de cuidado y permisos de operatividad de puertos, paseos costeros, playas y otras zonas aledañas al mar.

La base de datos de avisos de marejadas abarca entre los años 2010 y 2019 y está disponible en un archivo que separa los avisos por año. La Tabla 3 muestra los tres primeros avisos emitidos en el año 2018.

Tabla 3: Primeros 3 avisos de marejadas del año 2018 emitidos por el SERVIMET.

AVISO		DIRECCION	TRAMOS	INICIO	TERMINO
1		NW	ARICA COQUIMBO	LUNES 15 ENERO PM	MIÉRCOLES 17 ENERO
			COQUIMBO GOLFO DE ARAUCO	MARTES 16 ENERO AM	MIÉRCOLES 17 ENERO
			A. JUAN FERNANDEZ	MARTES 16 ENERO AM	MIÉRCOLES 17 ENERO
2	ANORMALES	NW	ISLA DE PASCUA	JUEVES 18 ENERO AM	DOMINGO 21 ENERO
			ARICA COQUIMBO	JUEVES 18 ENERO AM	MARTES 23 ENERO
			A. JUAN FERNANDEZ	VIERNES 19 ENERO AM	MARTES 23 ENERO
			COQUIMBO LEBU	SÁBADO 20 ENERO AM	MARTES 23 ENERO
3		SW	GOLFO DE PENAS CORRAL	MARTES 30 ENERO AM	JUEVES 1 FEBRERO
			CORRAL COQUIMBO	MARTES 30 ENERO PM	VIERNES 2 FEBRERO
			A. JUAN FERNANDEZ	MIÉRCOLES 31 ENERO AM	VIERNES 2 FEBRERO
			COQUIMBO CHAÑARAL	MIÉRCOLES 31 ENERO AM	VIERNES 2 FEBRERO

Fuente: SERVIMET

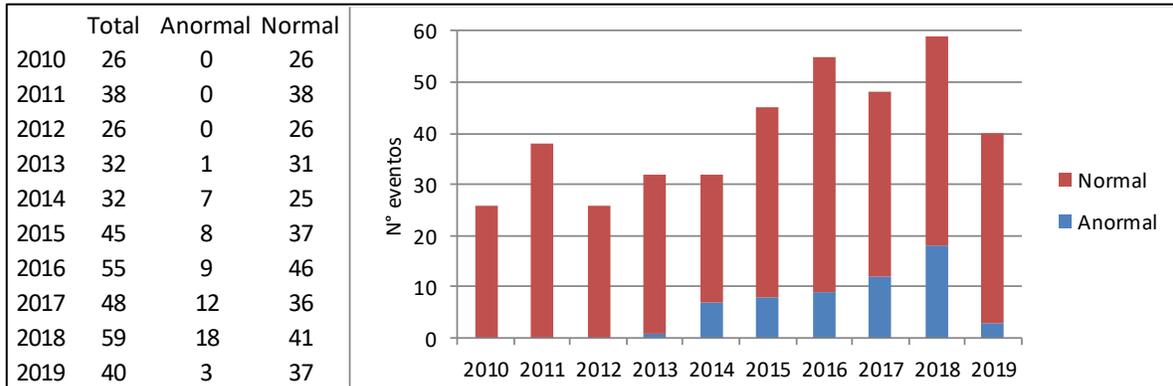
Los avisos presentan una numeración correlativa que se reinicia cada año, detallando si el tipo de aviso es Normal (no se señala) o Anormal (destacado en amarillo), la dirección desde la que proviene el evento de oleaje, los tramos y por último las fechas entre los cuales se desarrollará el evento.

Cabe destacar que la fecha de inicio posee separación entre “AM” y “PM”, no así el término del evento, el cual se identifica solo como día. Dado lo anterior, es que para efectos de este estudio, los casos donde el evento comienza en “AM”, se considera su inicio a las 06:00 horas, mientras que para “PM” es a las 18:00 horas. En cuanto al término del evento, se define al inicio del día siguiente en horario de 00:00 horas.

En la Figura 8 se presentan los avisos de marejadas emitidos por SERVIMET entre 2010 y 2019, donde se observa que anualmente se generaron un mínimo de 26 avisos (2010 y

2012) y un máximo de 59 avisos (2018). En total se contabilizaron 401 avisos en el periodo de estudio.

Figura 8: Número de avisos de marejadas emitidos entre el 2010 y 2019.



Fuente: SERVIMET

B. TRATAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de la base de datos contempla las siguientes tareas:

1. Corrección de ortografía.
2. Asignación de identificador numérico único de 6 dígitos, donde los 4 primeros dígitos corresponden al año y los últimos 2 dígitos corresponden al número de evento del año correspondiente (e.g., el aviso N°5 del año 2016 tiene el identificador 201605).
3. Asignación de identificador numérico de tramos dentro de un mismo aviso (ID).
4. Registro del día, hora de inicio y término del evento en formato fecha. Para “AM” se asigna las 06:00 hrs, con “PM” se asigna las 18:00 hrs y cuando no se indica detalle horario se asignan las 00:00 hrs del día siguiente.
5. Asignación de código de ciudad para inicio y término del aviso, considerando el lugar definido en la Figura 7 más cercano al sitio que se analiza. (e.g., Mejillones se asigna a Antofagasta N°4, Faro Corona y Chiloé se asignan a Canal Chacao N°18).
6. Corrección del sector donde termina el aviso, para así evitar superposición de tramos (columna Hasta* en Tabla 4).
7. Asignación de código de cuatro dígitos de zona en la que se genera el aviso, donde los dos primeros dígitos es el inicio del tramo que se avisa y los dos siguientes dígitos son el código del fin del tramo.

Tabla 4: Formato de data procesada

Año	N° Aviso	Código Aviso	ID	Fecha Inicio	Fecha Término	Desde	Hasta	Hasta*	ID zona	Tipo
2016	2	201602	1	2016-01-19 06	2016-01-26 00	18	8	9	1808	N
2016	2	201602	2	2016-01-20 06	2016-01-26 00	8	6	7	806	N
2016	2	201602	3	2016-01-21 06	2016-01-26 00	6	1	2	601	N
2016	2	201602	4	2016-01-19 18	2016-01-26 00	22		22	2200	N
2016	3	201603	1	2016-01-21 18	2016-01-28 00	1	12	11	112	A
2016	3	201603	2	2016-01-22 06	2016-01-28 00	12	15	14	1215	A
2016	3	201603	3	2016-01-22 18	2016-01-28 00	15	21	20	1521	A
2016	3	201603	4	2016-01-22 18	2016-01-28 00	22		22	2200	A
2016	4	201604	1	2016-01-28 18	2016-02-03 00	1	8	7	108	N
2016	4	201604	2	2016-01-29 06	2016-02-03 00	8	13	12	813	N
2016	4	201604	3	2016-01-28 18	2016-02-03 00	22		22	2200	N

Fuente: Elaboración Propia

6.2.2 AVISO DE MAREJADAS DEL ATLAS DE OLEAJE Y EL SISTEMA DE ALERTA DE MAREJADAS

La escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso cuenta con un sistema de pronóstico de oleaje (Parra & Beyá, 2017) desde octubre de 2016, el cual se complementa con un modelo de reanálisis que abarca desde 1979 a 2017. Estas bases de datos son:

- Atlas de Oleaje (Hindcast): Se utilizan datos de viento de reanálisis con los que se fuerza el modelo de olas. El uso de esta base de datos va cubre entre 2010 y 2016.
- Sistema de Alerta de Marejadas (Pronóstico): Se utilizan pronósticos de viento con los que se fuerza el modelo de oleaje. La data cubre entre 2017 y 2019.

Ambas bases de datos proporcionan la fecha (columna 1 a 4), parámetros de resumen de oleaje (columna 5 a 11), marea (columna 12) y categorización de marejada que va desde la categoría 1 a la 5 definidas por oleaje, potencia y categoría final (columnas 14 a 17) según la Tabla 5.

Tabla 5: Formato de datos del Sistema de Alerta de Marejadas

Año	Mes	Día	Hora	Hs	Tp	Tm	DirP	DirM	Pe	Po	Marea	Cat_Hs	Cat_Po	Cat_Final
2016	10	6	3	2,1	14,9	11,9	217,2	218,6	12,8	27,4	0,1	-1	-1	-1
2016	10	6	6	2,0	14,7	11,7	217,1	218,2	12,7	25,5	0,2	-1	-1	-1
2016	10	6	9	2,0	14,6	11,6	217,1	217,7	12,6	24,3	0,0	-1	-1	-1
2016	10	6	12	2,0	14,6	11,7	217,0	217,2	12,7	24,4	-0,2	-1	-1	-1
2016	10	6	15	2,0	14,7	12,0	216,9	216,6	13,0	26,8	-0,1	-1	-1	-1
2016	10	6	18	2,2	14,7	12,4	216,7	216,0	13,4	31,4	0,0	-1	-1	-1
2016	10	6	21	2,3	14,6	12,8	216,6	215,7	13,6	36,8	-0,1	0	0	0
2016	10	7	0	2,5	14,6	13,0	216,6	215,7	13,8	41,7	-0,2	0	0	0

Fuente: SAM

Donde:

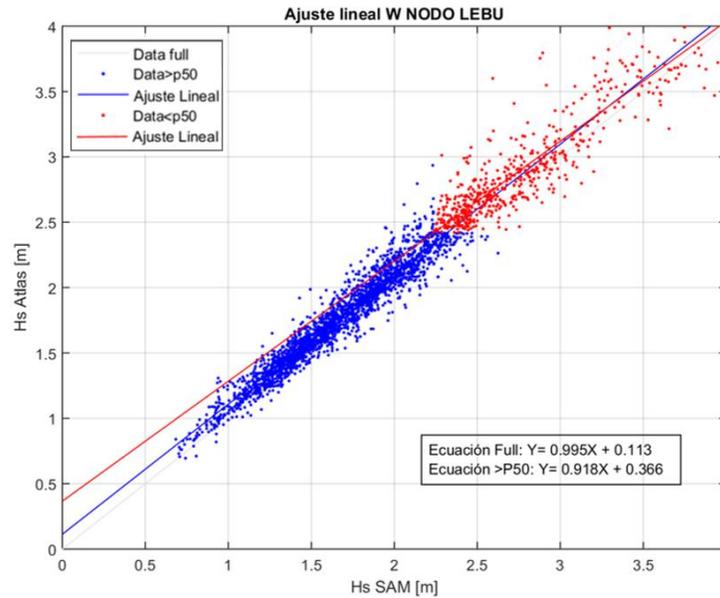
- Hs: Altura Significativa del oleaje [m].
- Tp: Periodo Peak del oleaje [s].
- Tm: Periodo Medio del oleaje [s].
- DirP: Dirección Peak del oleaje [°].
- DirM: Dirección Media del oleaje [°].
- Pe: Periodo Energético del oleaje [s].
- Po: Potencia del oleaje [kW/m].
- Marea: Pronóstico de marea [m].
- Cat_Hs: Categoría del estado de mar según criterio por oleaje.
- Cat_P: Categoría del estado de mar según criterio por potencia.
- Cat_Final: Categoría máxima del estado de mar entre Cat_Hs y Cat_P

Para complementar estas bases de datos y asociarlas en una sola serie de tiempo entre 2010 y 2019, se realizó una comparación del año 2017 (año en donde existe data en ambas bases de datos) concluyendo que ambas se correlacionan de buena forma en cuanto a magnitudes (Figura 9).

Se aprecian los puntos correspondientes a los datos mayores al percentil 50 (color azul) y menores al percentil 50 (color rojo), además de sus respectivos ajustes lineales, los cuales denotan la existencia de la buena correlación.

Dado lo anterior es que la cantidad de marejadas analizadas cubren un mayor espacio temporal que el correspondiente a cada base de datos, otorgando una mayor robustez al análisis.

Figura 9: Comparación datos Atlas-SAM Nodo Lebu año 2017



Fuente: SAM

Finalmente, para tener una serie de tiempo continua y útil para cada localidad, se generó una serie que indica para cada estado de mar, la ocurrencia de un evento de marejadas.

La ocurrencia de marejadas se define a partir de si el estado de mar analizado supera el umbral del percentil 95 por altura de ola y potencia, además de su periodo de retorno para los nodos oceánicos ubicados en las localidades de estudio.

En la Tabla 6 se resume el criterio de SAM utilizado para pronosticar de marejadas.

Tabla 6: Criterio SAM utilizado para los Pronósticos UV.

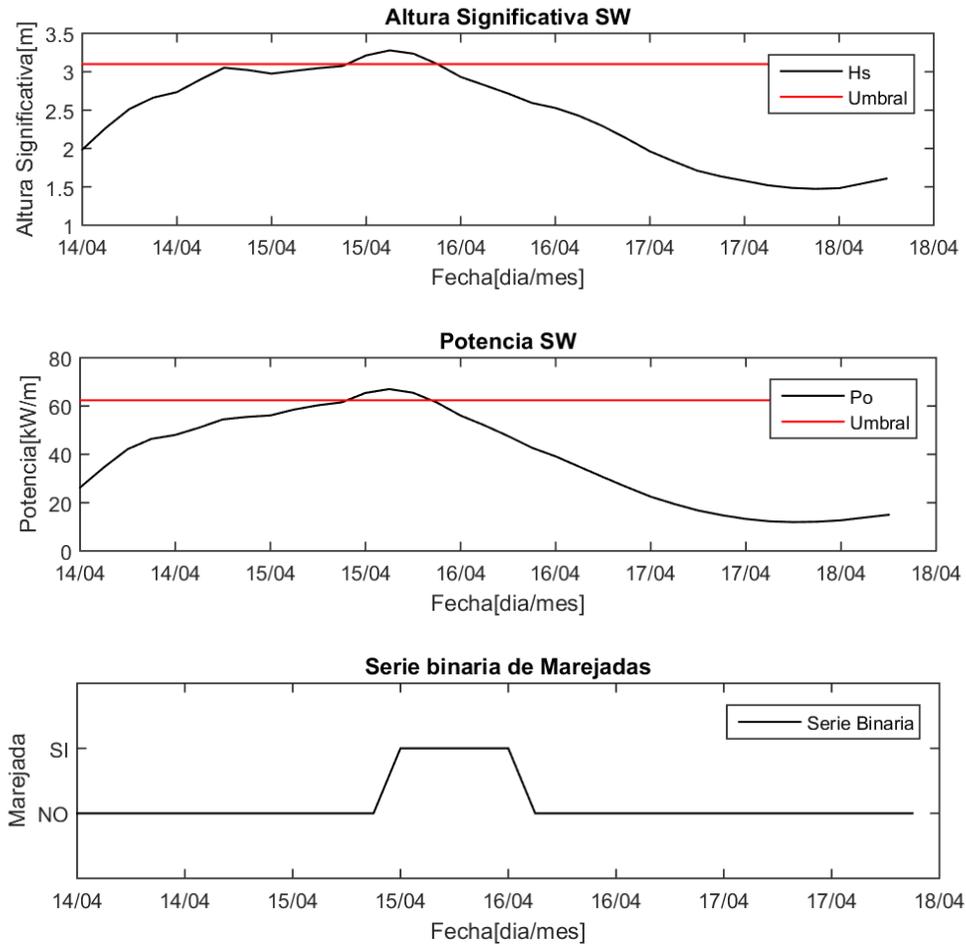
	PERCENTIL				PERIODO DE RETORNO [AÑOS]		
Desde	0	75	95	99	2	5	>15
Hasta	75	95	99	2	5	15	∞
Valor	-1	0	1	2	3	4	5
Categoría	Normal	Normal+	M1	M2	M3	M4	M5

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se presentan gráficos con ejemplos de cálculos de fechas en donde se supera el umbral de altura de ola y potencia para el nodo ubicado en Coquimbo en la fecha 15-04-2019.

Las series de tiempo de ocurrencia de un evento de marejadas, para cada criterio (umbral de altura de ola, potencia, se procede a consolidar la información en una sola serie, la cual corresponde a la serie de tiempo de marejada binaria. Esta define si existe ocurrencia del evento pronosticado, en base al criterio mencionado en la Tabla 6.

Figura 10: Ejemplo donde se supera el umbral de altura de ola y potencia, Coquimbo 15-04-2019.



Fuente: SAM mediante el software MATLAB.

Como se observa en la Figura 10, entre el medio día del 15 de abril y el inicio del día 16 de abril, los umbrales para altura de ola y potencia fueron superados, por lo tanto, se activa la ocurrencia de un evento de marejadas, lo que se traduce en la serie binaria de marejadas que indica la existencia del evento.

6.2.3 BOYAS

En este trabajo se utilizan los registros provenientes de boyas y de ADCP en algunas localidades (Iquique, Valparaíso, Talcahuano y Lebu) cuyo periodo de medición se detalla en la Tabla 7.

A. DESCRIPCIÓN DE DATOS

Para los datos de boyas se consideran los parámetros de oleaje de altura significativa y periodo.

Tabla 7: Base de datos disponible de boyas para periodo de estudio.

LOCALIDAD	LATITUD	LONGITUD	FECHA INICIO	FECHA TÉRMINO
Iquique	20°14.9'S	70°14.8'O	13 / 09 / 2018	28 / 08 / 2019
Valparaíso	32°59.7'S	71°49.5'O	01 / 11 / 2015 08 / 08 / 2018	12 / 01 / 2016 31 / 08 / 2019
Talcahuano	36°34'S	73°20.3'O	24 / 10 / 2017	13 / 01 / 2019
Lebu	37°35.18'S	73°39.46'O	31 / 08 / 2011 08 / 03 / 2012	05 / 11 / 2011 25 / 05 / 2012

Fuente: Elaboración Propia.

B. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos utilizados son los de altura significativa y periodo, para los cuales se ha desarrollado una rutina de MATLAB (Anexo 1) para el procesamiento de datos, en donde se verifica si cumple las condiciones de marejadas según el criterio SAM dispuesto en la Tabla 6.

6.3 METODOLOGÍA DE COMPARACIÓN

Para determinar la diferencia temporal (días antes o después) entre un aviso de marejada emitido por SERVIMET y el oleaje modelado en SAM o registrado mediante boyas, se analizan dichas bases de datos en forma simultánea.

Las diferencias (en días) se analizan para los siguientes pares:

- SERVIMET – SAM
- SERVIMET – BOYAS

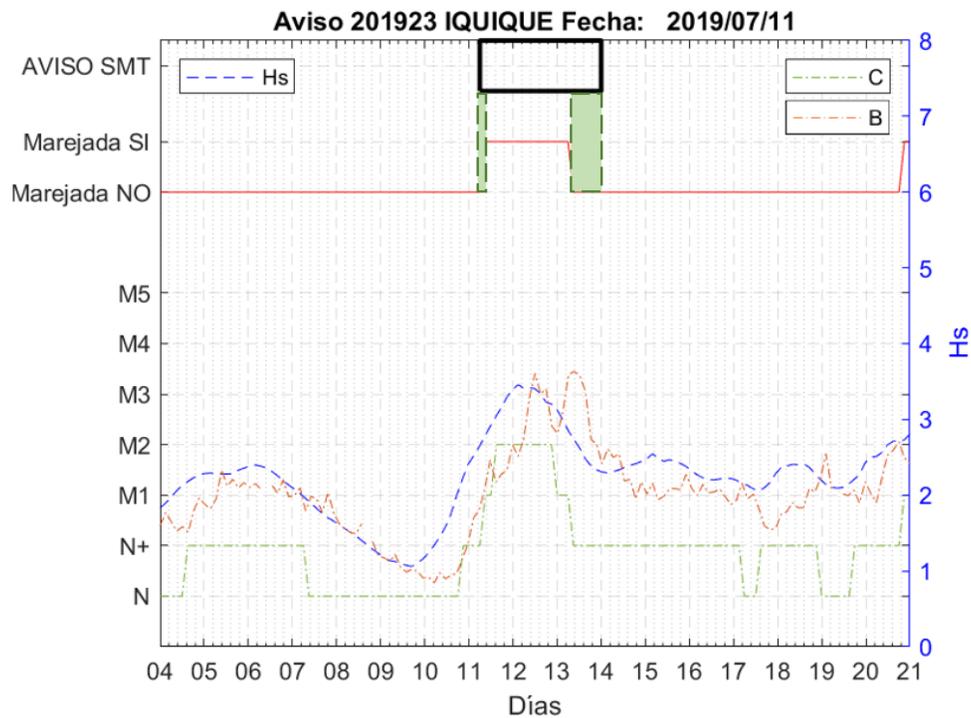
En la Figura 11 se ilustran las series de las 3 bases de datos respectivos al aviso de SERVIMET (rectángulo negro), la marejada binaria de SAM (línea roja) y la medición de boyas (línea segmentada naranja). La línea segmentada verde corresponde a la categoría de marejada definida por SAM en su medición.

En cuanto a los desfases, el recuadro de color verde expresa la diferencia obtenida entre el tiempo de arribo y término del aviso de SERVIMET respecto al de SAM.

Además, la simbología viene dada por:

- Hs: Altura significativa
- C: Categoría de marejada dispuesta por SAM
- B: Medición efectuada mediante boya

Figura 11: Esquema para determinar los desfases en los tiempos de arribo y término de los avisos de marejadas.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

7 RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados más significativos obtenidos de la comparación entre las distintas bases de datos para cada una de las localidades detalladas en la Tabla 2. Dichos resultados son obtenidos producto la comparación de:

- SERVIMET – SAM
- SERVIMET – BOYAS

Los desfases de inicio o término de una marejada se definen como negativos o positivos tomando como referencia temporal los avisos de marejadas de SERVIMET. Dada la gran cantidad de imágenes generadas, en este capítulo se presentan figuras de resultados correspondientes solo a aquellas localidades en donde existe data de las tres bases de datos definidas en la Tabla 7. Las figuras con los resultados de la totalidad de localidades se incluyen en la sección de anexos mediante un enlace.

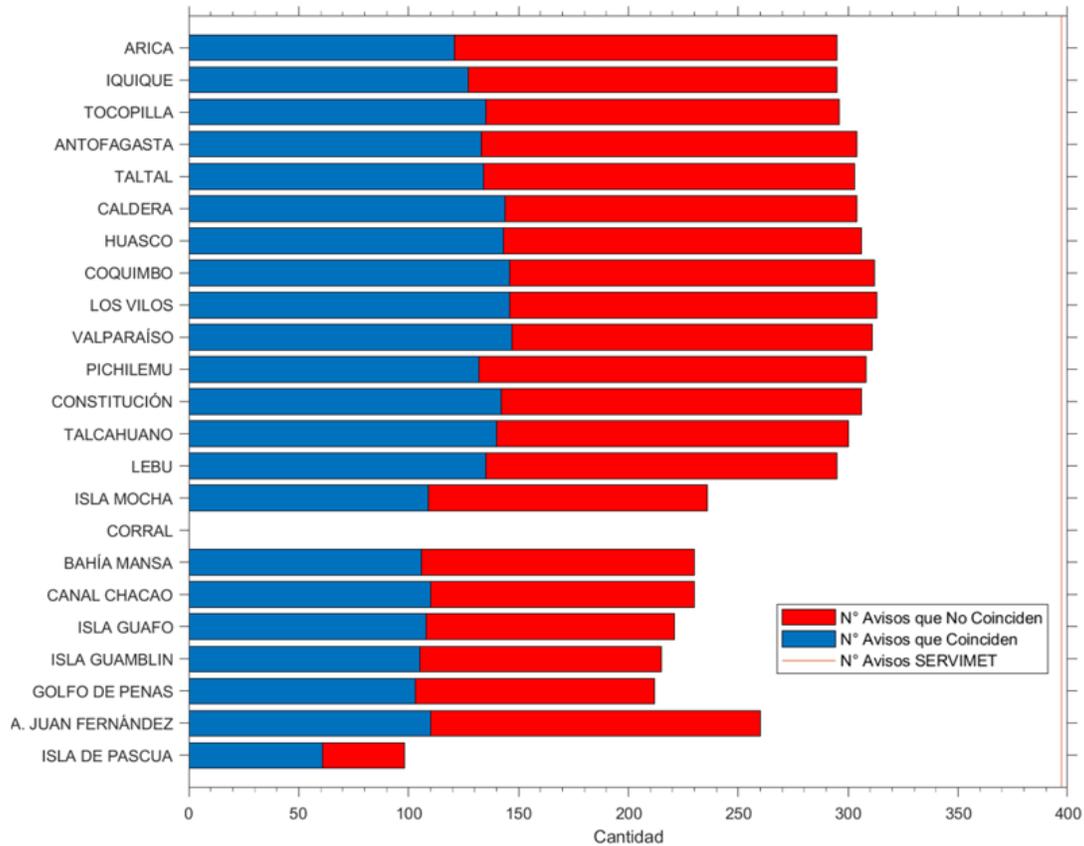
Hay que destacar que la localidad de Corral finalmente no fue considerada para el análisis propuesto en este proyecto debido a que su base de datos tanto en SAM en boyas no contaba con el espacio temporal suficiente. Además los periodos de medición y proyección no eran consecuentes entre sí, por lo que no era posible realizar un análisis óptimo.

7.1 SERVIMET – SAM

En la Figura 12 se presenta la cantidad de avisos que coinciden (y no), entre las alertas de marejadas emitidas por SAM y los avisos de marejadas de SERVIMET.

En esta se logra apreciar que más de la mitad de los avisos entregados por SERVIMET no coinciden con los efectuados por SAM.

Figura 12: Cantidad de avisos que coinciden o no, entre los emitidos por SERVIMET vs SAM



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

Cabe mencionar que ambas bases de datos provienen de mediciones y estimaciones para aguas profundas.

La Figura 13, Figura 16, Figura 19 y Figura 22 corresponden a la comparación de los avisos de marejadas para Iquique, Valparaíso, Talcahuano y Lebu, respectivamente. En dichas figuras se indican los siguientes casos:

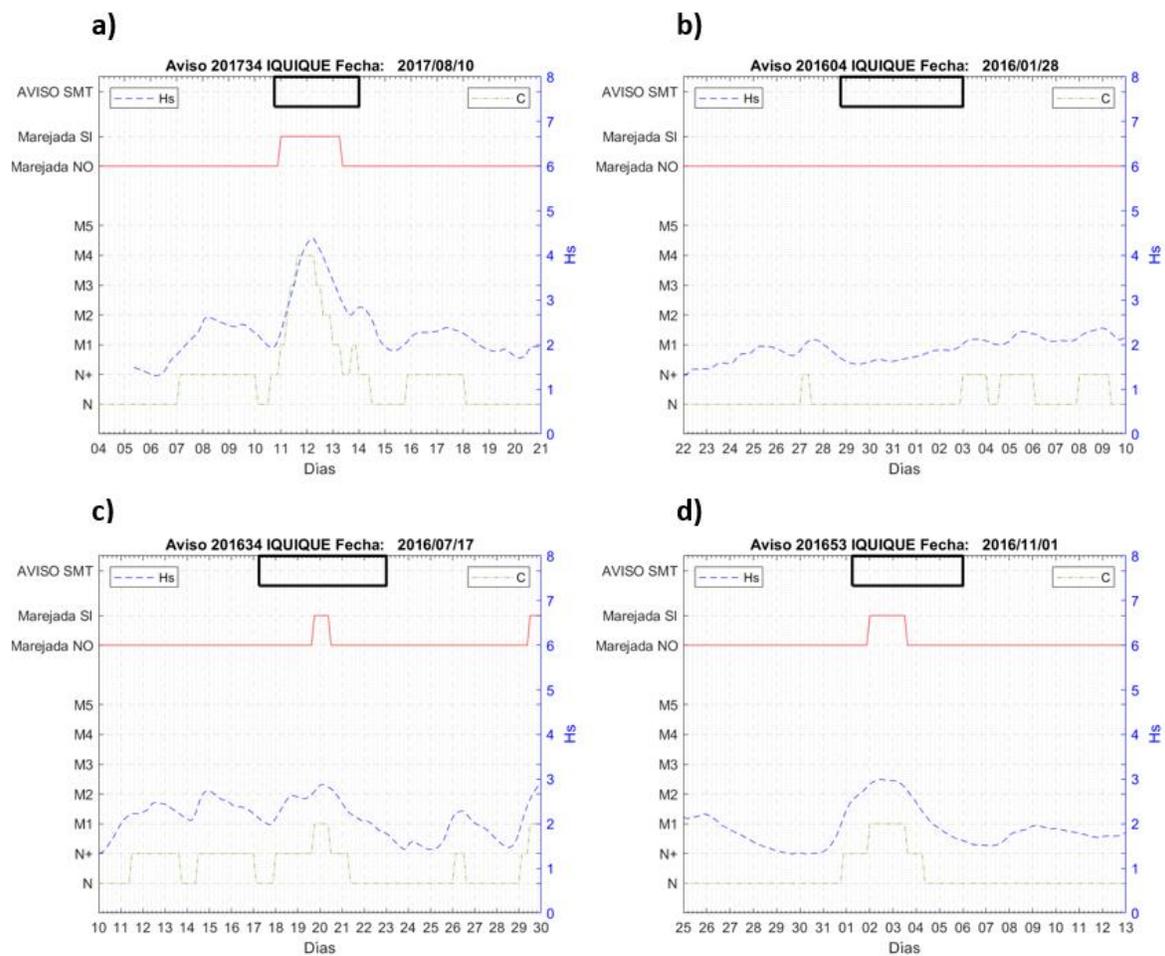
- Existe coincidencia entre los avisos
- No existe coincidencia entre los avisos
- Existe un desfase en el inicio o término entre los avisos
- Existe variación en la duración de los avisos

7.1.1 IQUIQUE

En la Figura 13 se pueden apreciar las distintas combinaciones que surgen al momento de comparar ambas bases de datos. En a) tenemos una coincidencia en los eventos de marejadas, ya que el pronóstico de SERVIMET y SAM fue muy similar. Por el contrario, en b) no existe coincidencia alguna, ya que SAM no efectuó ningún aviso en el periodo entregado por SERVIMET. En c) existe coincidencia, pero con desfases tanto en el tiempo de arribo y término del evento entregado por SAM respecto al de SERVIMET. Se ve claramente que el evento pronosticado por SAM llega más tarde y termina de forma anticipada. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos, ya que el aviso de SERVIMET es notoriamente mayor al efectuado por SAM.

Figura 13: Comparación de avisos de marejadas en Iquique.

a) SERVIMET y SAM coinciden; b) SERVIMET y SAM no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que SAM.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

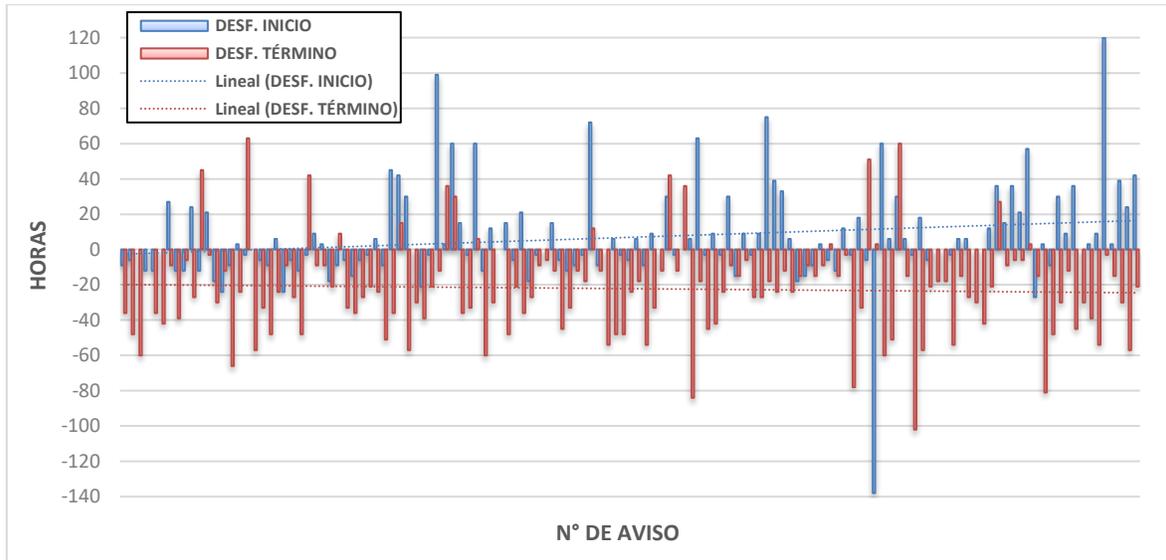
En la Tabla 8 obtenida de la Figura 14, se pueden apreciar valores promedios positivos para el inicio de los avisos de SAM y negativos para su término, lo que indica una tendencia a que los avisos de SAM para la localidad de Iquique comienzan más tarde y terminan de forma anticipada respecto a los de SERVIMET.

Tabla 8: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Iquique.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	6.9	-22.2
DESV. EST.	27.1	27.7

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

Figura 14: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

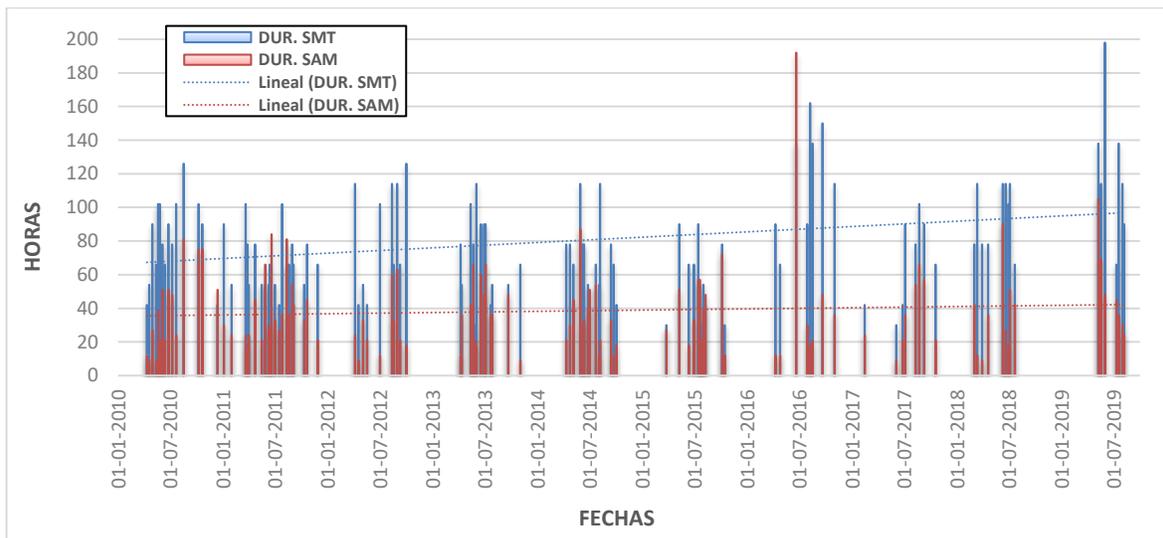
La Figura 15 indica la diferencia existente entre la duración de los avisos de SAM y los de SERVIMET, en donde claramente se aprecia mayor duración para los emitidos por SERVIMET. Esto es corroborado con la Tabla 9, en donde se ve cuantitativamente la diferencia promedio y desviación estándar existente entre ambos avisos.

Tabla 9: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Iquique.

	SMT [Hrs]	SAM [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	79.8	38.4	41.4
DESV. EST.	30.8	25.1	5.1

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 15: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Iquique



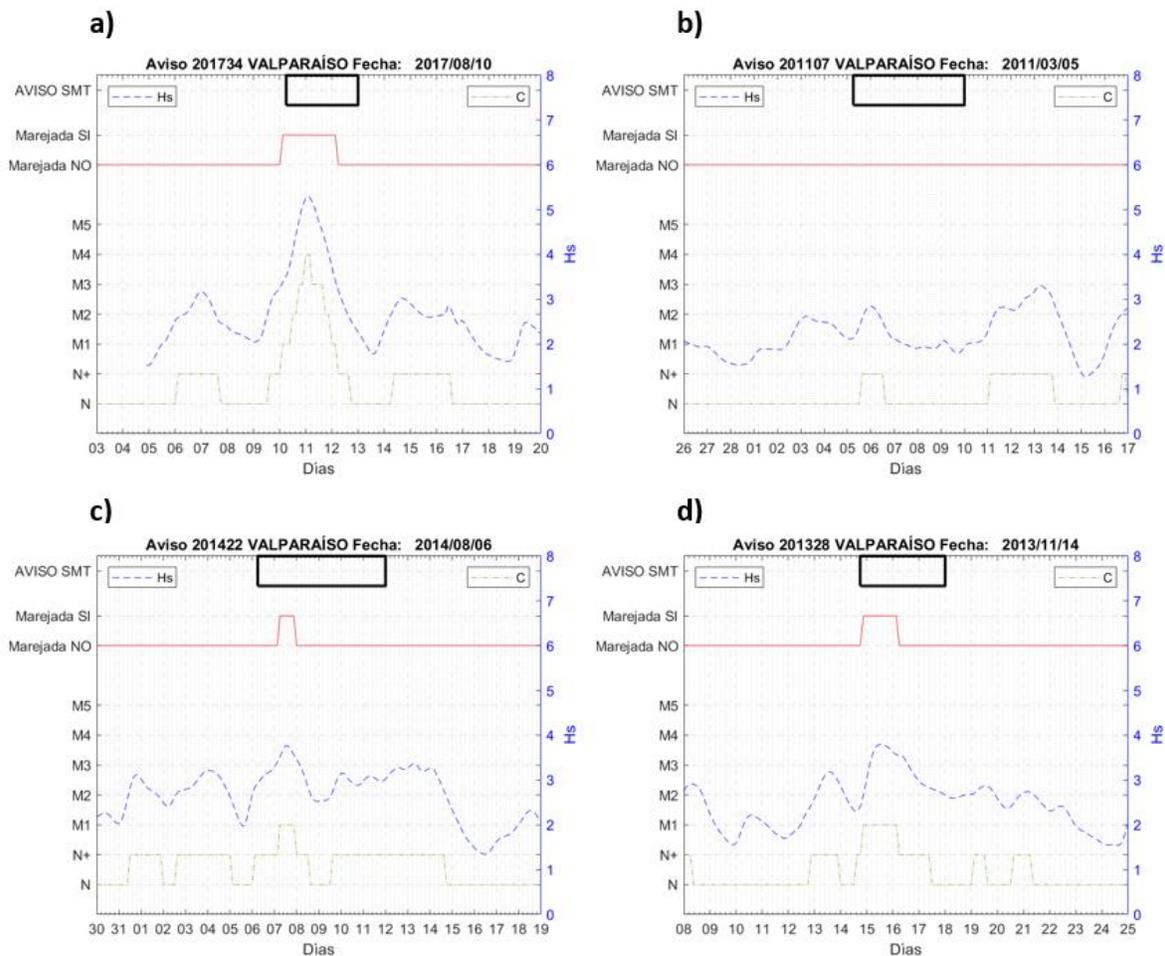
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

7.1.2 VALPARAÍSO

La Figura 16 ilustra en a) una coincidencia en los eventos de marejadas, ya que ambos pronósticos de resultaros ser muy similares. En b) no existe coincidencia alguna, ya que no existe aviso alguno por parte de SAM durante el periodo del de SERVIMET. En c) existe coincidencia del evento, pero con desfases tanto en el tiempo de arribo como en el de término del evento entregado por SAM. Se distingue como el evento pronosticado por SAM llega con aproximadamente 1 día de retraso, mientras que termina 4 días antes. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos. Si bien es cierto que los eventos inician prácticamente al mismo tiempo, existe una diferencia al término de este, ya que el aviso de SERVIMET es notoriamente mayor al efectuado por SAM.

Figura 16: Comparación de avisos de marejadas en Valparaíso.

a) SERVIMET y SAM coinciden; b) SERVIMET y SAM no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que SAM.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

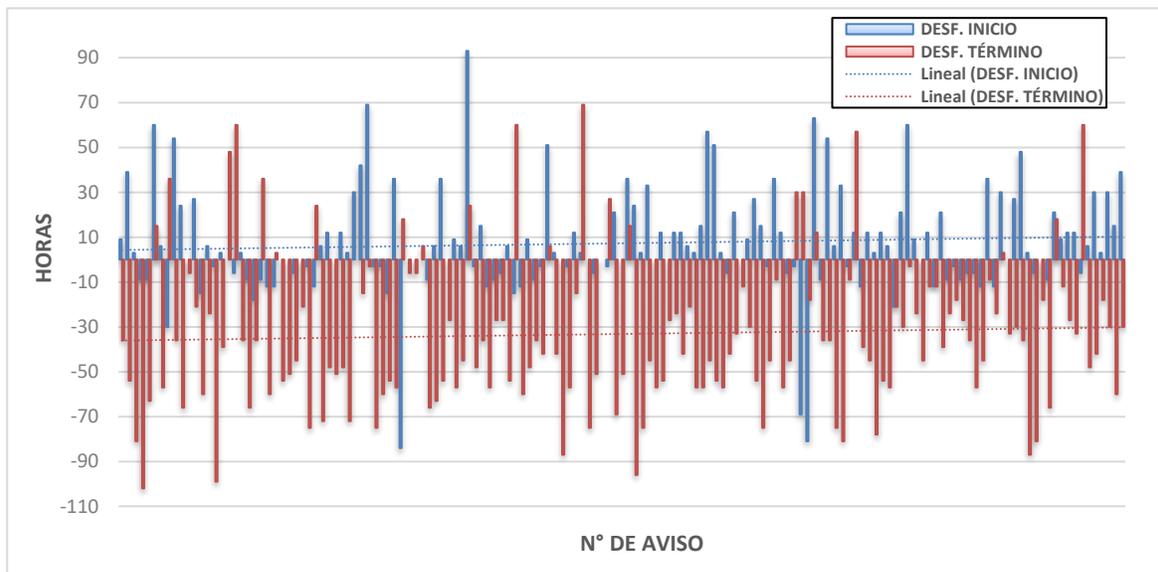
En Tabla 10 desprendida de la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, se indican cuantitativamente valores promedios positivos en cuanto a tiempos de arribos, es decir, la mayoría de los eventos de SAM comienzan más tarde que los de SERVIMET. Por otra parte, en cuanto al término de los eventos, se aprecian mayormente desfases negativos, lo que nos indica que los eventos de SAM terminan de forma anticipada a los de SERVIMET.

Tabla 10: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Valparaíso.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	7.3	-33.2
DESV. EST.	23.5	34.3

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 17: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

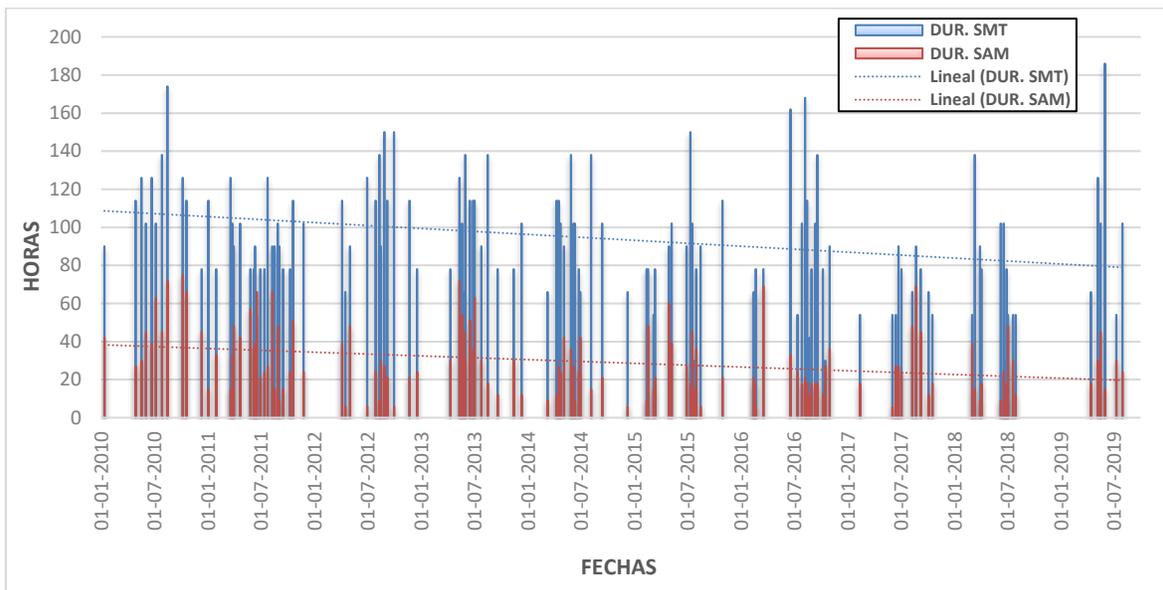
La Figura 18 mantiene la tendencia de que los avisos de SERVIMET poseen mayor duración respecto a los de SAM, llegando a existir diferencias promedio de 65,2 horas. Lo anterior se ratifica con la Tabla 11.

Tabla 11: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Valparaíso.

	SMT [Hrs]	SAM [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	94.6	29.5	65.2
DESV. EST.	30.2	17.3	12.9

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 18: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Valparaíso



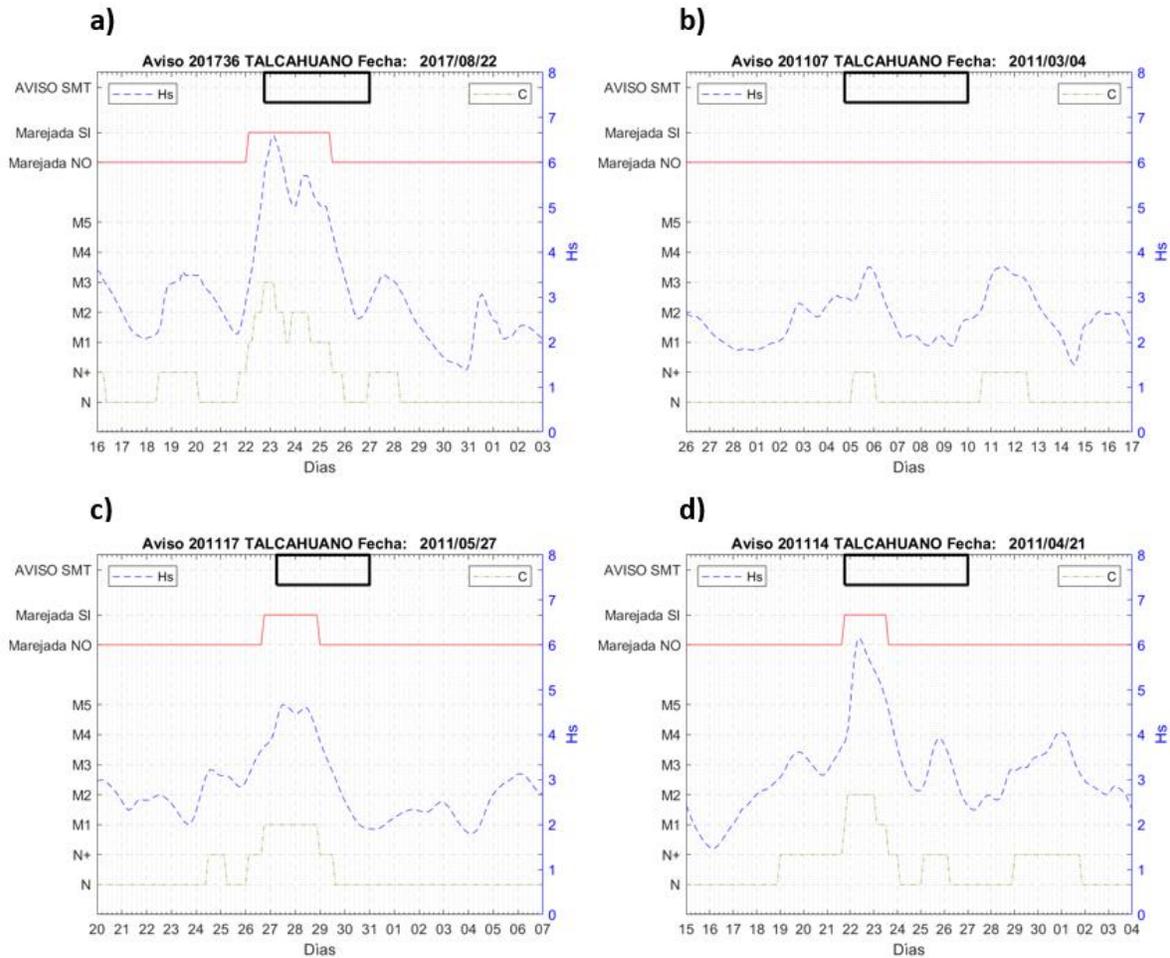
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

7.1.3 TALCAHUANO

Respecto de la Figura 19 se tiene en a) una coincidencia en los eventos de marejadas pero con un desfase en cuanto a su inicio y término. En b) no existe coincidencia alguna. En c) existe coincidencia del evento, pero con desfases tanto en el tiempo de arribo como en el de término del evento entregado por SAM. A diferencia de las localidades analizadas anteriormente, aquí se distingue como el evento pronosticado por SAM llega con aproximadamente 1 día de anticipación, mientras que su término ocurre 2 días antes. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos. Si bien es cierto que los eventos inician prácticamente al mismo tiempo, existe una gran diferencia al término de este, ya que el aviso de SERVIMET es visiblemente mayor al efectuado por SAM.

Figura 19: Comparación de avisos de marejadas en Talcahuano.

a) SERVIMET y SAM coinciden; b) SERVIMET y SAM no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que SAM.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

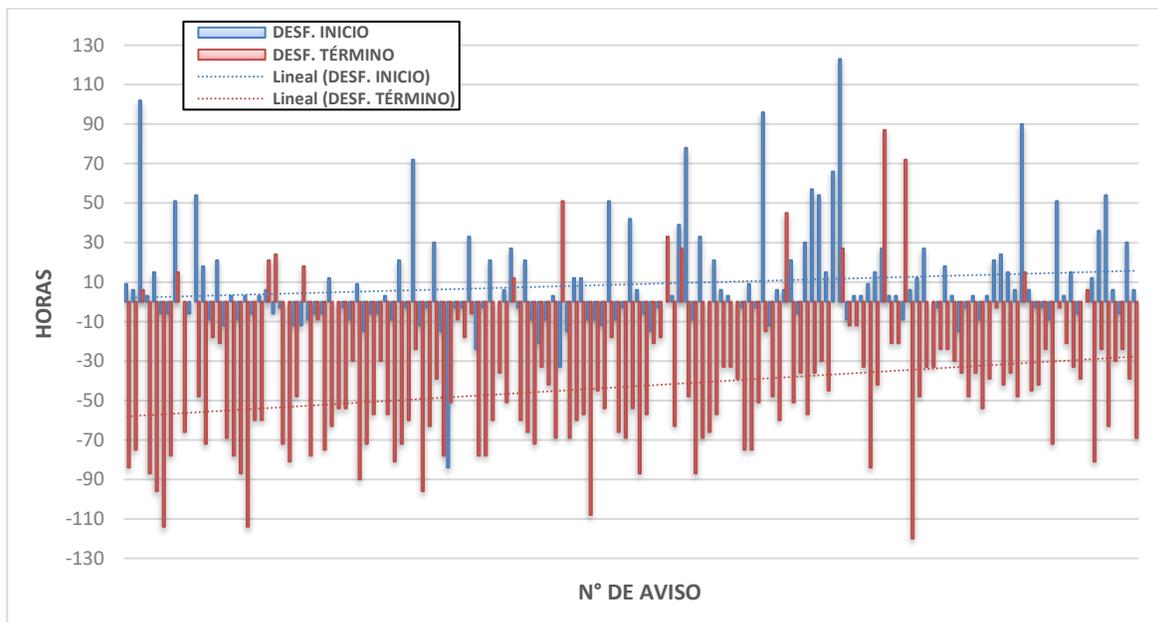
En cuanto a la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, la tendencia se mantiene positiva en cuanto a tiempos de arribos se mantiene, es decir, la mayoría de los eventos de SAM comienzan más tarde que los de SERVIMET, llegando en el caso más notorio a 120 horas de desfase. Por otra parte, en cuanto al término de los eventos, los desfases negativos siguen predominando con magnitudes máximas similares a las de arribo. La Tabla 12 reafirma lo anterior.

Tabla 12: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Talcahuano.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	8.8	-42.9
DES. EST.	26.2	35.7

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 20: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

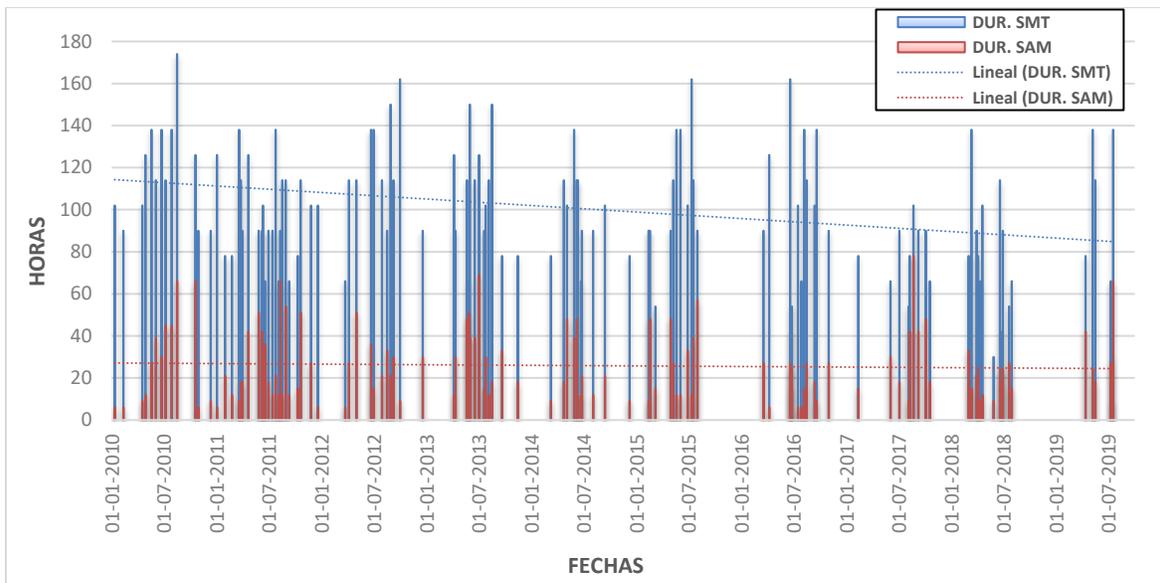
La Figura 21 ilustra la gran diferencia existente entre la duración de los avisos de SERVIMET y SAM. Se acrecienta la tendencia respecto a que SERVIMET sobredimensiona la duración de los avisos de marejadas. Esto se puede ver reflejado en Tabla 13 en donde la diferencia promedio entre los avisos es de 75 horas y su desviación estándar 12,5.

Tabla 13: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Talcahuano.

	SMT [Hrs]	SAM [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	100.9	25.9	75.0
DESV. EST.	29.2	16.7	12.5

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 21: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Talcahuano



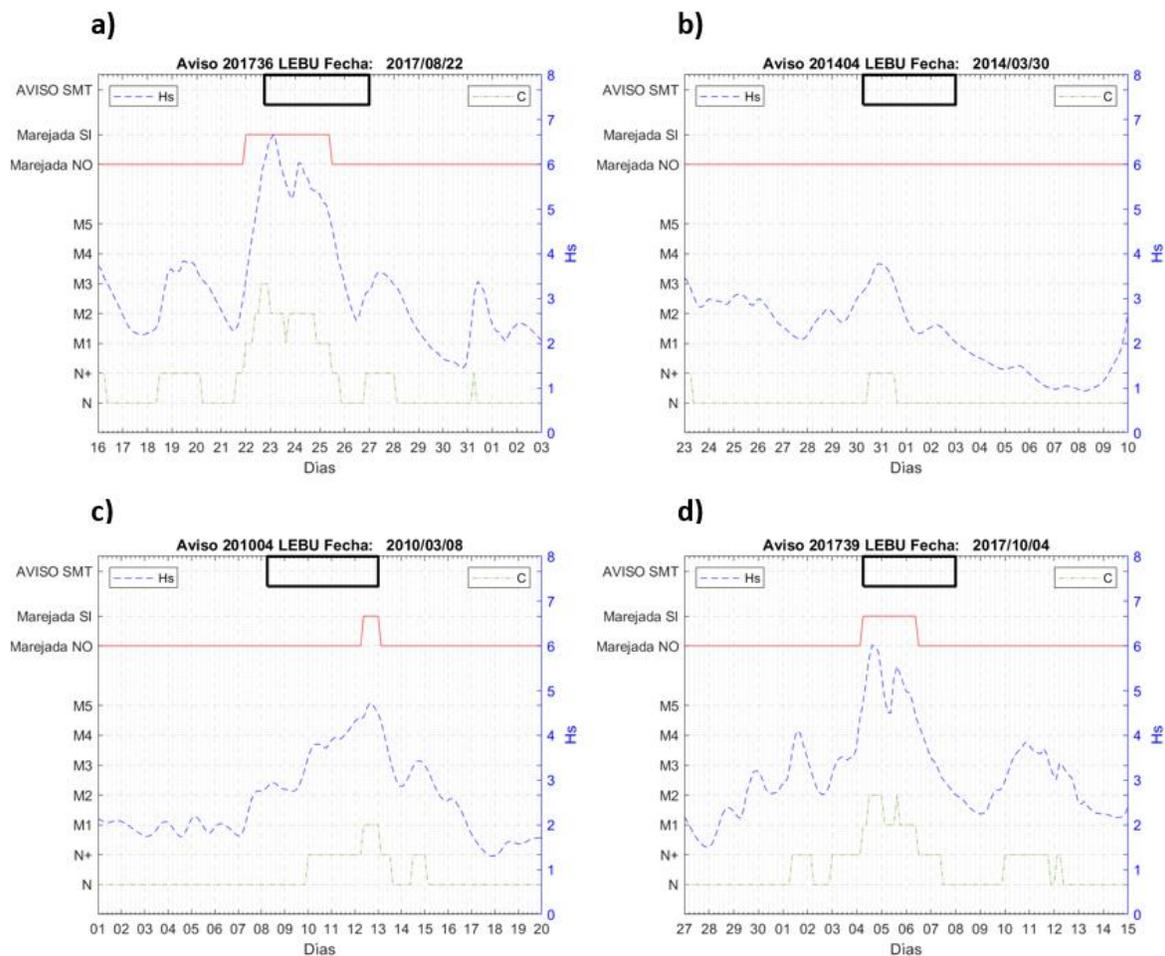
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

7.1.4 LEBU (GOLFO DE ARAUCO)

Respecto de la Figura 22 se puede apreciar en a) una coincidencia en cuanto a la duración de los eventos, pero con un desfase negativo en cuanto al inicio del aviso de SAM, es decir, comienza antes y termina antes. En b) no existe coincidencia alguna. En c) existe coincidencia del evento, pero con desfases en el tiempo de arribo, ya que SAM inicia aproximadamente 4 días después, mientras que ambos terminan al mismo tiempo. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos. Los eventos inician prácticamente al mismo tiempo, existe diferencia al término de este, ya que el aviso de SERVIMET es mayor al de SAM.

Figura 22: Comparación de avisos de marejadas en Lebu.

a) SERVIMET y SAM coinciden; b) SERVIMET y SAM no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que SAM.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

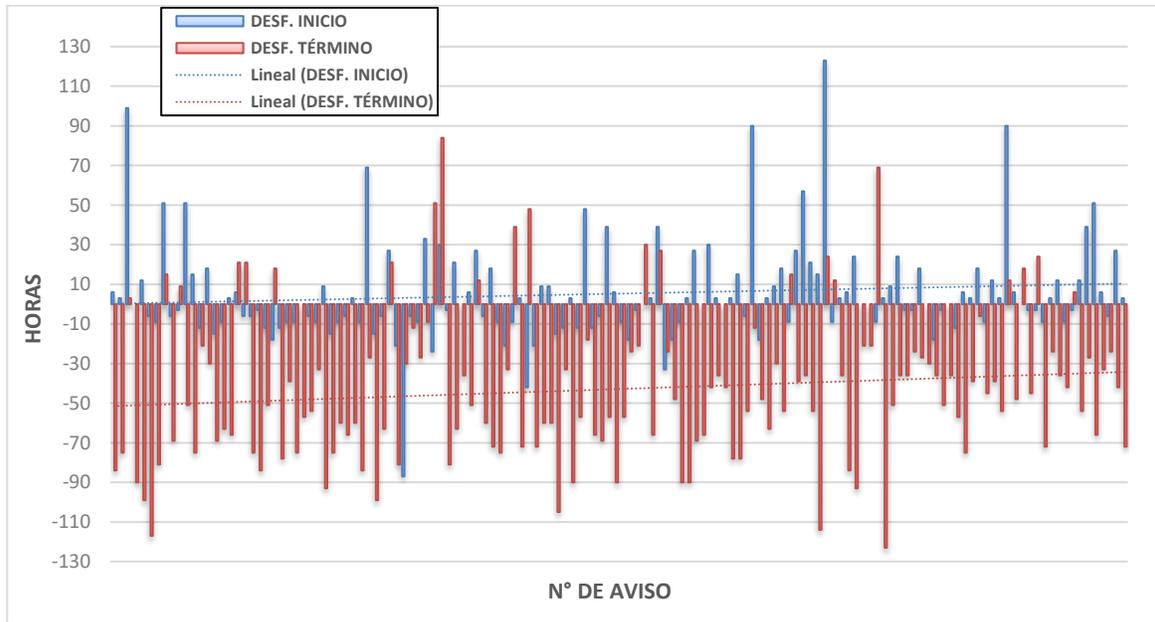
De la Figura 23 se observa la tendencia positiva que ha existido en la mayoría de las localidades analizadas en cuanto a tiempos de arribos, ya que sigue predominando el inicio tardío de los eventos de SAM respecto a los de SERVIMET, alcanzando desfases mayores a noventa horas. Por otra parte, en cuanto al término de los eventos, los desfases negativos continúan sobresaliendo, llegando a valores similares que en el caso de inicio. La Tabla 14 representa cuantitativamente el promedio entre ambos desfases.

Tabla 14: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Lebu.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	5.3	-42.9
DES. EST.	25.4	38.5

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 23: Desfases en los tiempos de arribo y término para los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

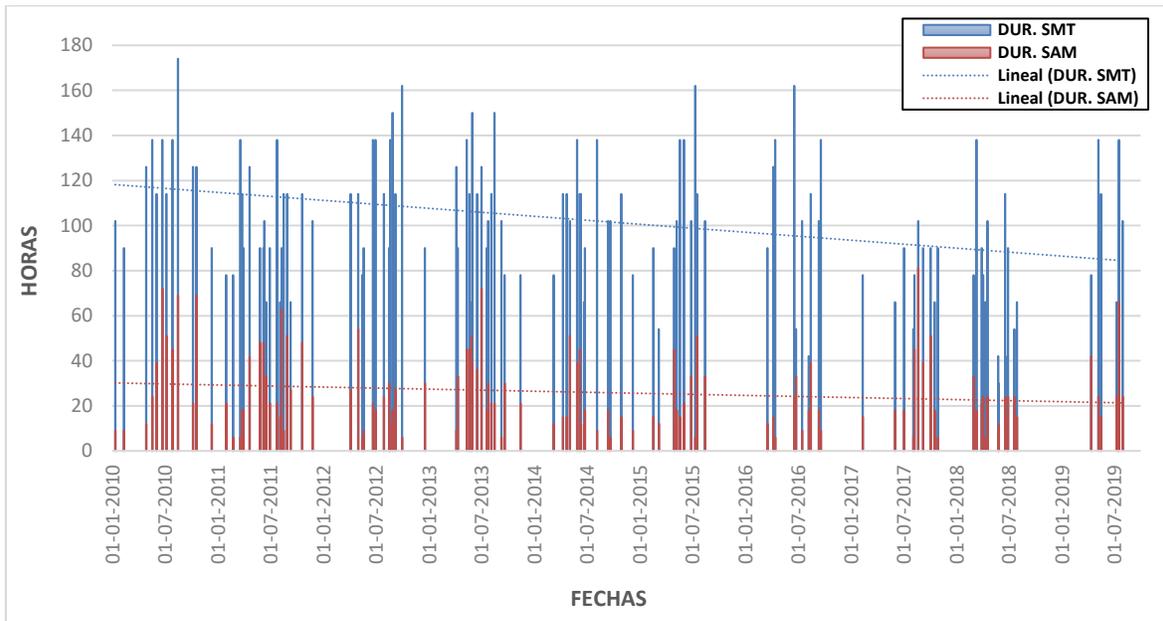
En la Figura 24 se percibe la amplia diferencia respecto a la duración de los avisos de marejadas que emite SERVIMET en relación a los de SAM. Se mantiene la propensión de que SERVIMET excede en el tiempo de sus avisos de marejadas. La Tabla 15 detalla la diferencia existente entre ambas duraciones promedio y su desviación estándar.

Tabla 15: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT y SAM en Lebu.

	SMT [Hrs]	SAM [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	102.4	26.0	76.4
DESV. EST.	29.6	17.1	12.5

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 24: Duración de los avisos de SAM respecto a los de SERVIMET en Lebu

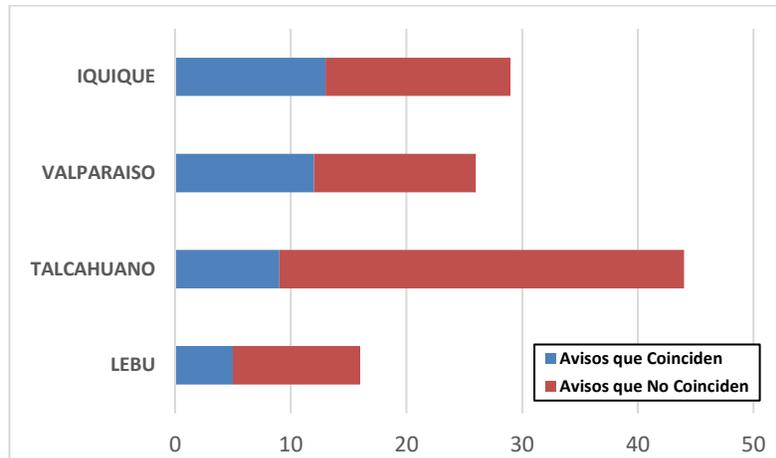


Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

7.2 SERVIMET – BOYAS

En la Figura 25 se presenta la cantidad de avisos que coinciden (y no), entre las alertas de marejadas emitidas por el SERVIMET, respecto a las mediciones de las boyas.

Figura 25: Cantidad de avisos que coinciden (y no), entre los emitidos por el SERVIMET vs mediciones en boyas.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

Las Figura 26, Figura 29, Figura 32 y Figura 35 representadas a continuación, corresponden a la comparación de los avisos de marejadas de SERVIMET respecto a mediciones de boyas, para los casos en donde:

- Existe coincidencia entre los avisos
- No existe coincidencia entre los avisos
- Puede existir coincidencia siempre y cuando no existan desfases de inicio o término mayores a 8 estados de mar (24 horas) que fue el tiempo de holgura establecida para definir coincidencia de eventos.
- Existe variación en la duración de los avisos

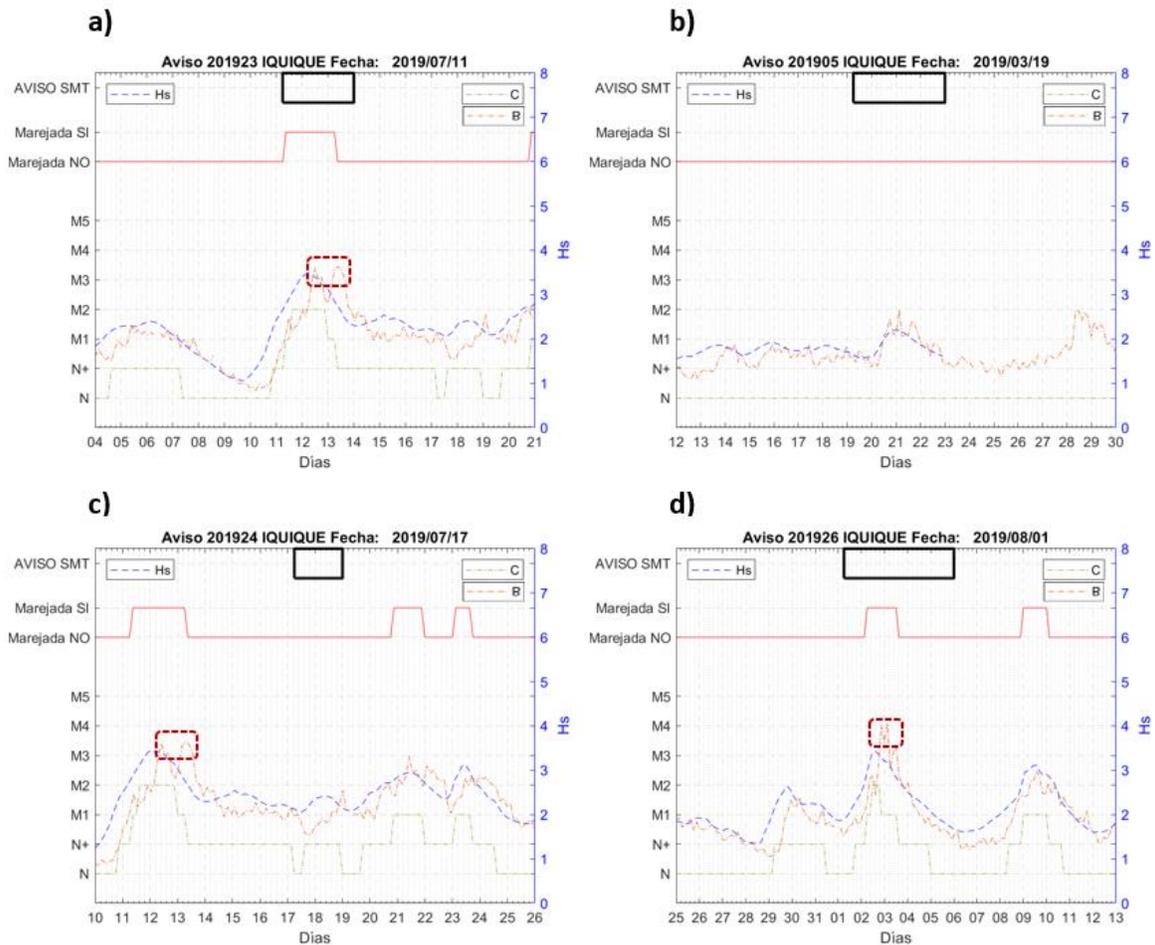
En dichas figuras, el recuadro rojo con líneas segmentadas representa una ventana de tiempo donde se identificaron marejadas mediante boyas, las cuales serán comparadas con los recuadros negros correspondientes a los avisos de SERVIMET.

7.2.1 IQUIQUE

Respecto de la Figura 26 se puede apreciar en a) una coincidencia en cuanto a la duración de los eventos, pero con un desfase positivo en cuanto al inicio del evento medido por la boya, es decir, comienza más tarde que el de SERVIMET. Por otra parte, en cuanto al término del evento, finalizan de forma simultánea. En b) no existe coincidencia alguna. En c) No existe coincidencia del evento, ya que los desfases son de aproximadamente 96 horas, por lo que se considera un evento distinto. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos donde además existen desfases.

Figura 26: Comparación de avisos de marejadas en Iquique.

- a) SERVIMET y BOYA coinciden; b) SERVIMET y BOYA no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que BOYA.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

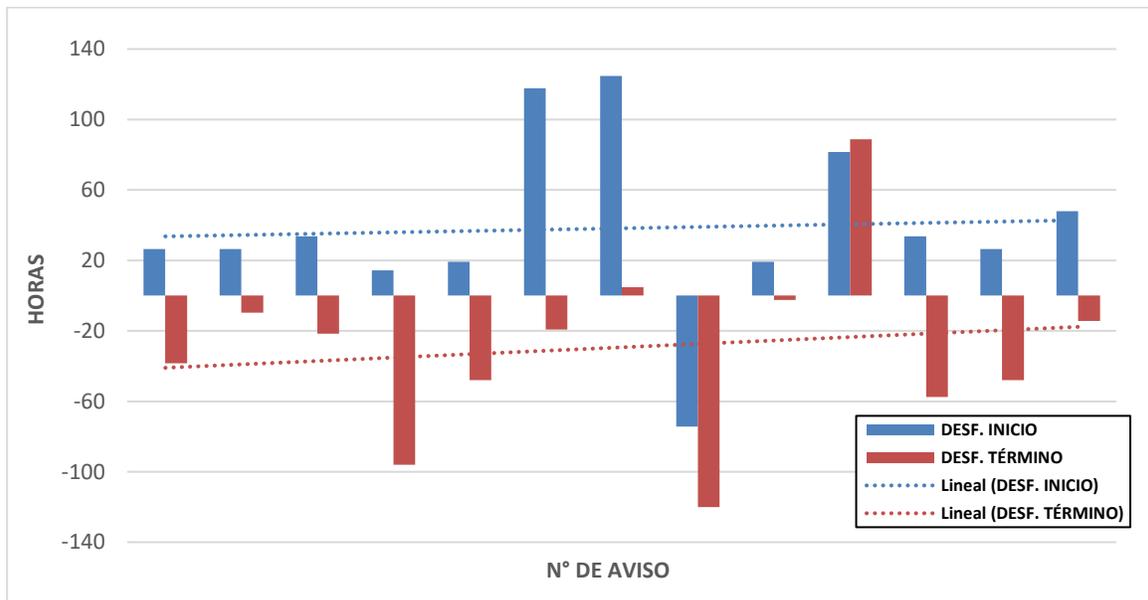
En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** se puede apreciar que para los tiempos de arribo existe mayormente un desfase positivo, lo que indica que las marejadas medidas mediante boyas llegaron más tarde que el aviso entregado por SERVIMET. Por otra parte, para el término del evento obtenido por las boyas, el promedio de los datos es negativo, es decir, los eventos terminan de forma anticipada en relación al aviso de SERVIMET. Lo anterior se reafirma con la Tabla 16.

Tabla 16: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Iquique.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	38.2	-29.4
DES. EST.	50.2	50.7

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 27: Desfases en los tiempos de arribo y término, entre las mediciones de boyas y SERVIMET en Iquique.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

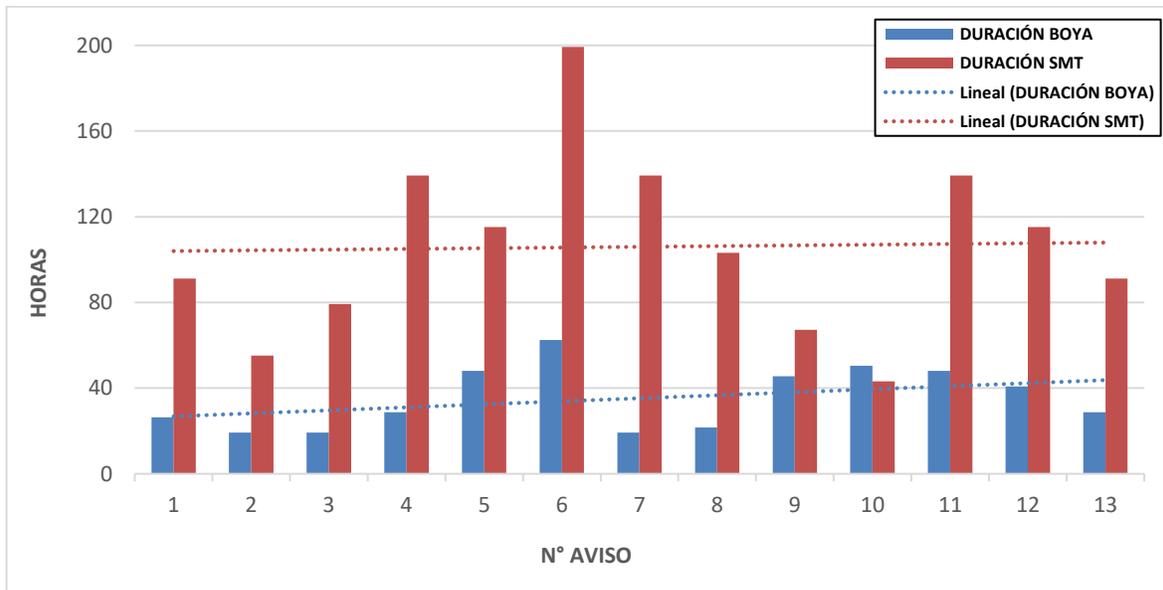
En la Figura 28 se determinan las duraciones de los avisos efectuados por SERVIMET respecto a las mediciones realizadas por las boyas, la cual nos permite concluir que tanta diferencia existe entre el aviso entregado por SERVIMET, respecto al fenómeno medido. Se puede deducir que los avisos de SERVIMET poseen un mayor rango de tiempo respecto al fenómeno medido por las boyas. Esto se reafirma con los datos entregados en la Tabla 17.

Tabla 17: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Iquique.

	SMT [Hrs]	BOYA [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	106.0	35.3	70.7
DESV. EST.	42.2	14.6	27.6

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 28: Duración de las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Iquique.



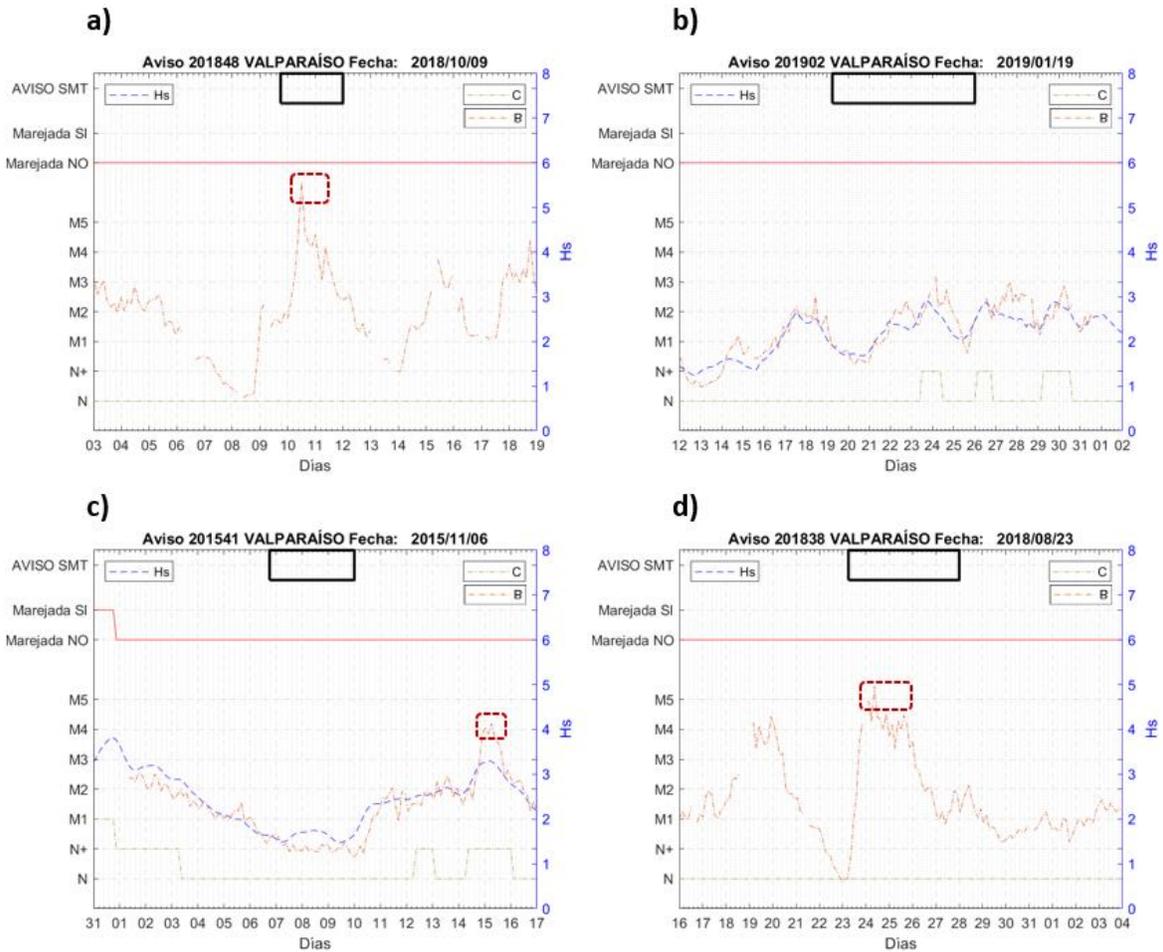
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

7.2.2 VALPARAÍSO

La Figura 26 indica en a) una coincidencia, su duración es similar, pero con un desfase positivo en cuanto al inicio del evento medido por la boya, es decir, comienza más tarde que el de SERVIMET. Por otra parte, en cuanto al término del evento, finalizan de forma anticipada, por lo que se considera un desfase negativo. En b) no existe coincidencia alguna. En c) No existe coincidencia del evento, ya que los desfases son mayores a los estados de mar estipulados para definir coincidencia. En d) tenemos diferencia en la duración de los eventos donde también existen desfases.

Figura 29: Comparación de avisos de marejadas en Valparaíso.

a) SERVIMET y BOYA coinciden; b) SERVIMET y BOYA no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que BOYA.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

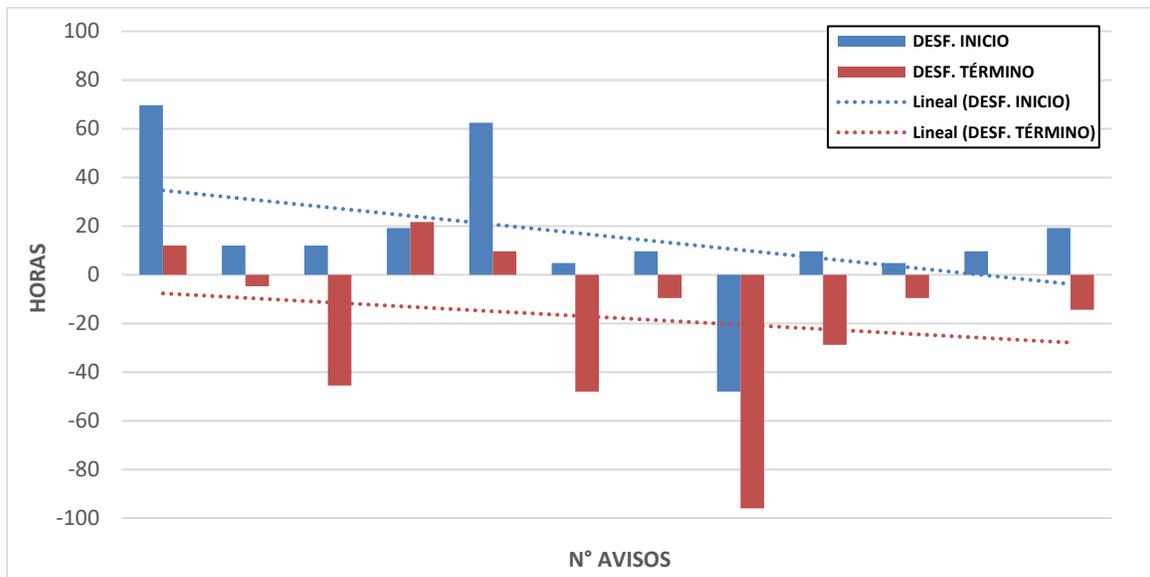
En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** sucede de forma similar a lo ocurrido en Iquique, ya que para los tiempos de arribo existe mayormente un desfase positivo. Con respecto al término del evento obtenido por las boyas, existe un valor promedio negativo, lo que indica que el evento termina antes que el de SERVIMET. Esto se puede rectificar en la Tabla 18.

Tabla 18: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Valparaíso.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	15.4	-17.8
DES. EST.	29.5	32.7

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 30: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Valparaíso.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

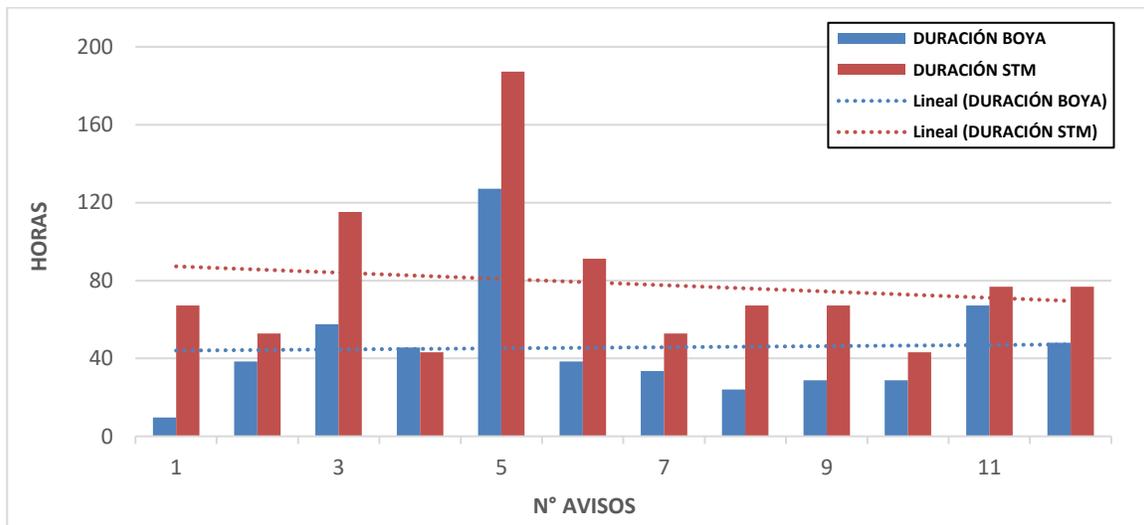
En la Figura 31 se expresan las duraciones de los avisos efectuados por SERVIMET respecto a las mediciones realizadas por las boyas. Aquí es posible inferir que los avisos entregados por SERVIMET son más extensos que el fenómeno medido mediante boyas. Para verificar lo anterior, la Tabla 19 detalla los promedios de duraciones entre ambas bases de datos.

Tabla 19: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Valparaíso.

	SMT [Hrs]	BOYA [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	78.4	45.6	32.8
DESV. EST.	39.9	29.9	10

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 31: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Valparaíso.



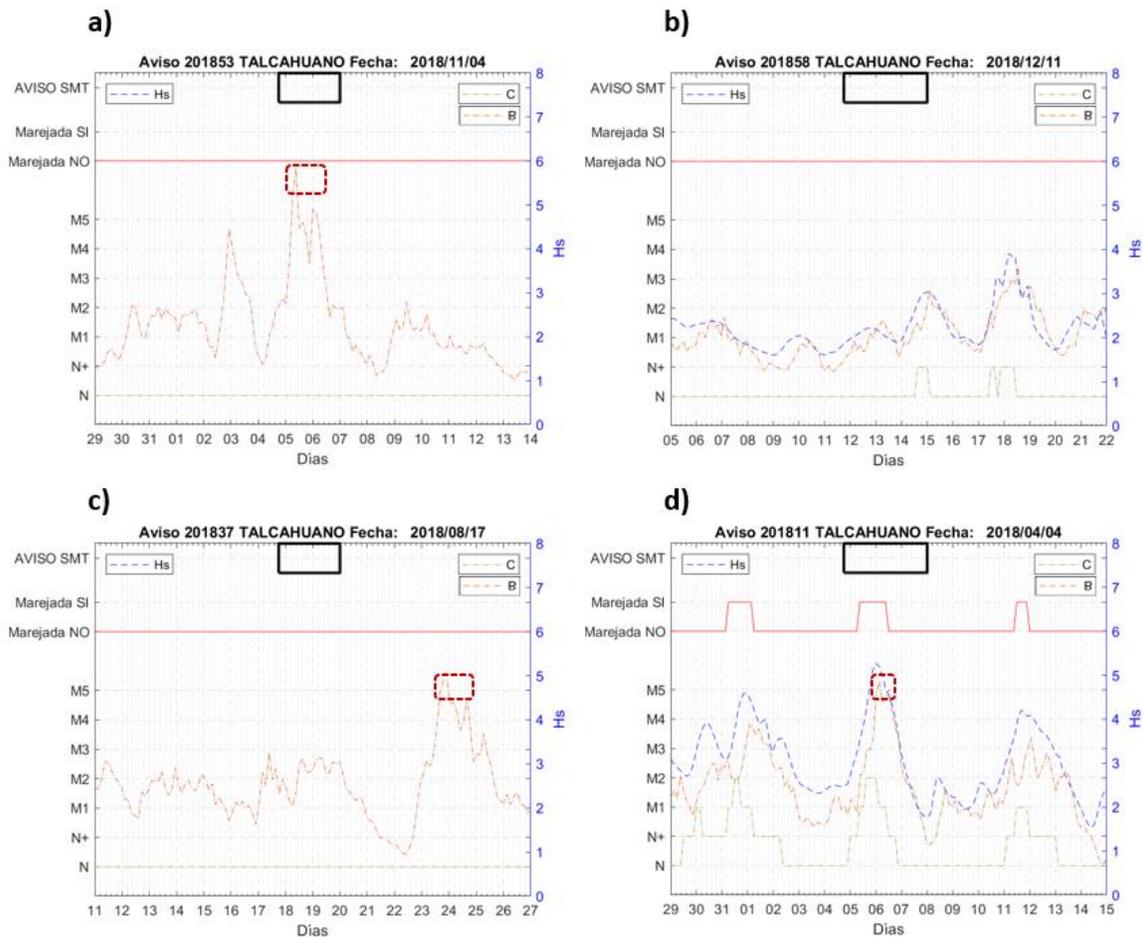
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

7.2.3 TALCAHUANO

En la Figura 32 se puede apreciar en a) una coincidencia, con una duración entre los eventos similar, pero con un desfase positivo en cuanto al inicio del evento medido por la boya, es decir, comienza más tarde que el de SERVIMET. Por otra parte, en cuanto al término del evento, la medición de la boya finaliza anticipadamente. En b) no existe coincidencia alguna. En c) No existe coincidencia del evento, ya que los desfases superan el umbral establecido, por lo que se considera un evento distinto. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos donde además existen desfases.

Figura 32: Comparación de avisos de marejadas en Talcahuano.

- a) SERVIMET y BOYA coinciden; b) SERVIMET y BOYA no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que BOYA.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

En la

Tabla 20: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Talcahuano.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	19.5	-20.3
DESV. EST.	21.8	29.9

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

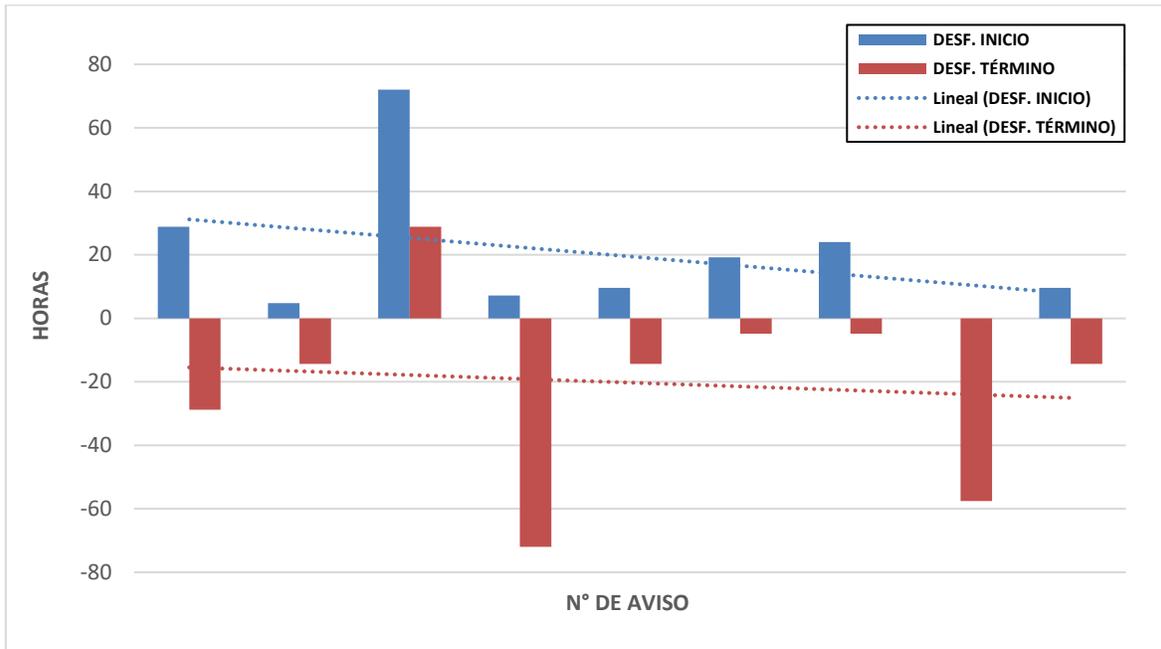
Figura 33 mantiene la tendencia de las localidades anteriores respecto a los desfases positivos de los tiempos de arribo en donde su promedio sigue siendo positivo. En los tiempos de término, el promedio sigue siendo negativo, por lo que los eventos obtenidos por las boyas terminan antes que los de SERVIMET. Para corroborar lo anterior se puede verificar los datos de la Tabla 20.

Tabla 20: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Talcahuano.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	19.5	-20.3
DESV. EST.	21.8	29.9

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 33: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Talcahuano.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

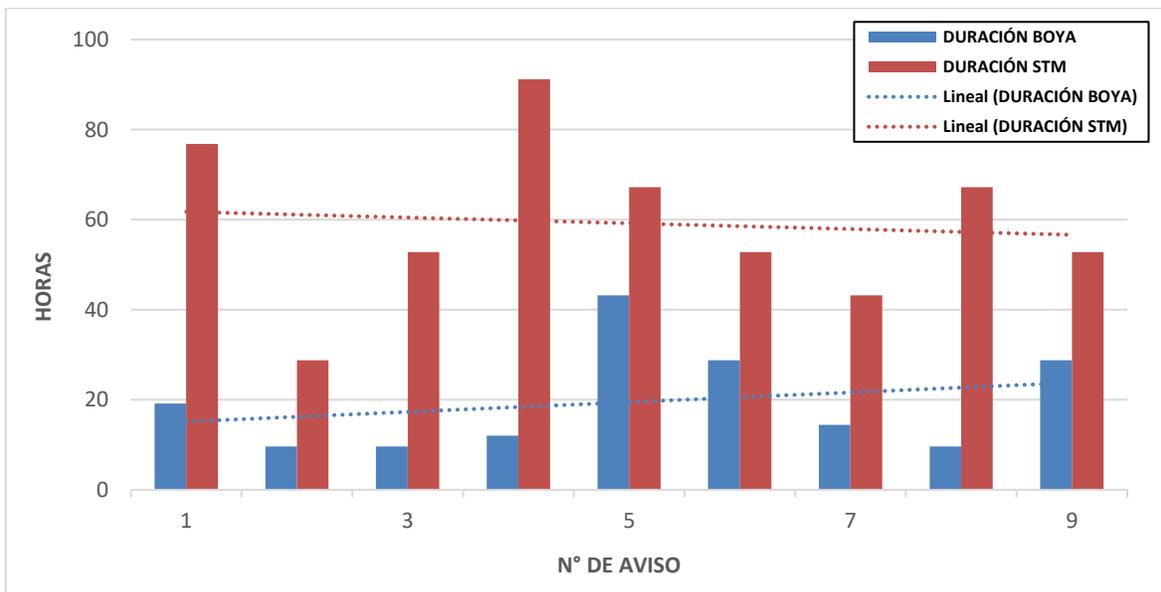
En la Figura 34 se mantiene la tendencia de que los avisos entregados por SERVIMET son más extensos que el fenómeno medido mediante boyas. La diferencia promedio entre ambas es de 39.7 horas (Tabla 21).

Tabla 21: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Talcahuano.

	SMT [Hrs]	BOYA [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	59.2	19.5	39.7
DESV. EST.	18.6	11.8	6.8

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 34: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Talcahuano.



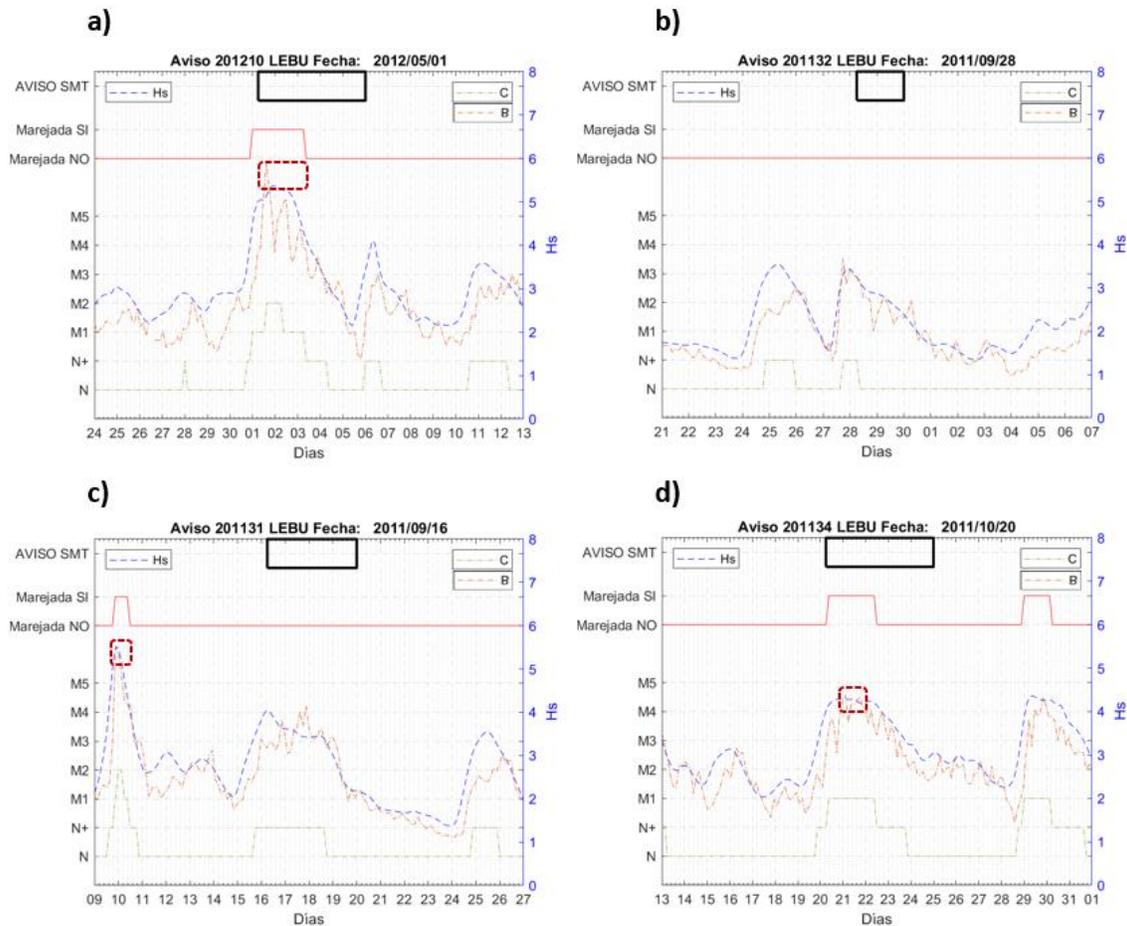
Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

7.2.4 LEBU (GOLFO DE ARAUCO)

La Figura 35 ilustra en a) una coincidencia, pero con diferencia en cuanto a la duración entre los eventos. Su inicio es muy similar, mientras que el término es anticipado por parte de la medición de la boya. En b) no existe coincidencia alguna. En c) No existe coincidencia del evento, ya que los desfases superan el umbral establecido, por lo que se considera un evento distinto. Finalmente, en d) tenemos diferencia en la duración de los eventos donde además existen desfases.

Figura 35: Comparación de avisos de marejadas en Lebu.

- a) SERVIMET y BOYA coinciden; b) SERVIMET y BOYA no coinciden; c) Existe un desfase; d) Aviso SERVIMET mayor que BOYA.



Fuente: Elaboración Propia mediante MATLAB.

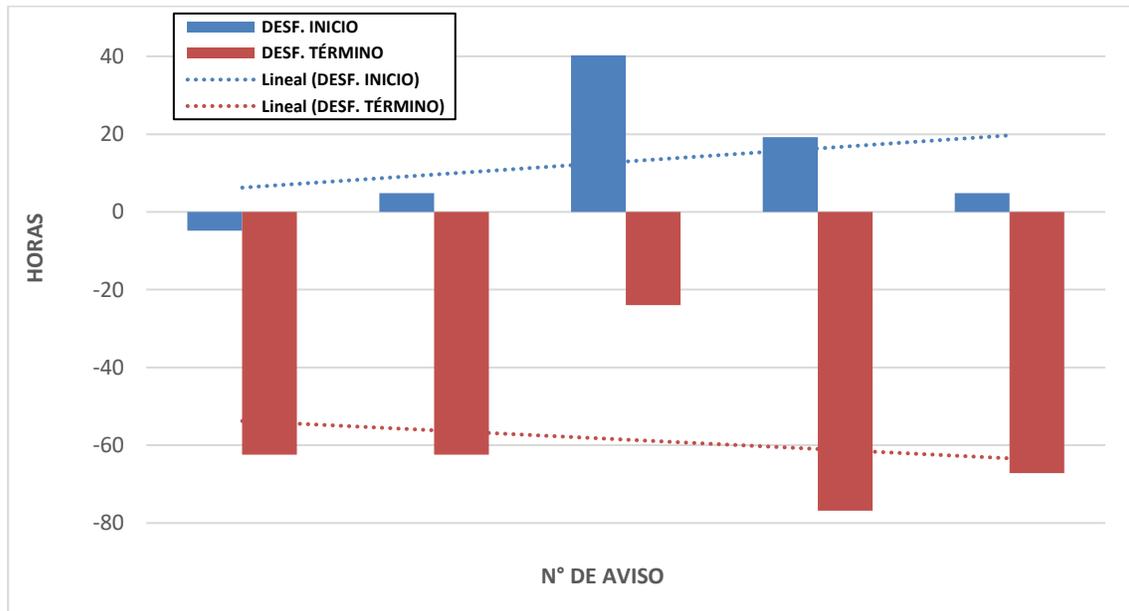
En la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** continúa la propensión de los resultados anteriores respecto a los desfases positivos de los tiempos de arribo. En cuanto a los tiempos de término, existe un promedio de desfase negativo mayor a las otras localidades, con un valor de 58,6 horas. Lo anterior indica que el evento obtenido por las boyas termina antes que el de SERVIMET. Para mayor certeza se puede apreciar la Tabla 22.

Tabla 22: Desfases promedio y desviación estándar para los tiempos de arribo y término en Lebu.

	INICIO [Hrs]	TERMINO [Hrs]
PROMEDIO	13.0	-58.6
DESV. EST.	17.8	20.2

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 36: Desfases en los tiempos de arribo y término, para las mediciones de boyas respecto a los avisos de SERVIMET en Lebu.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

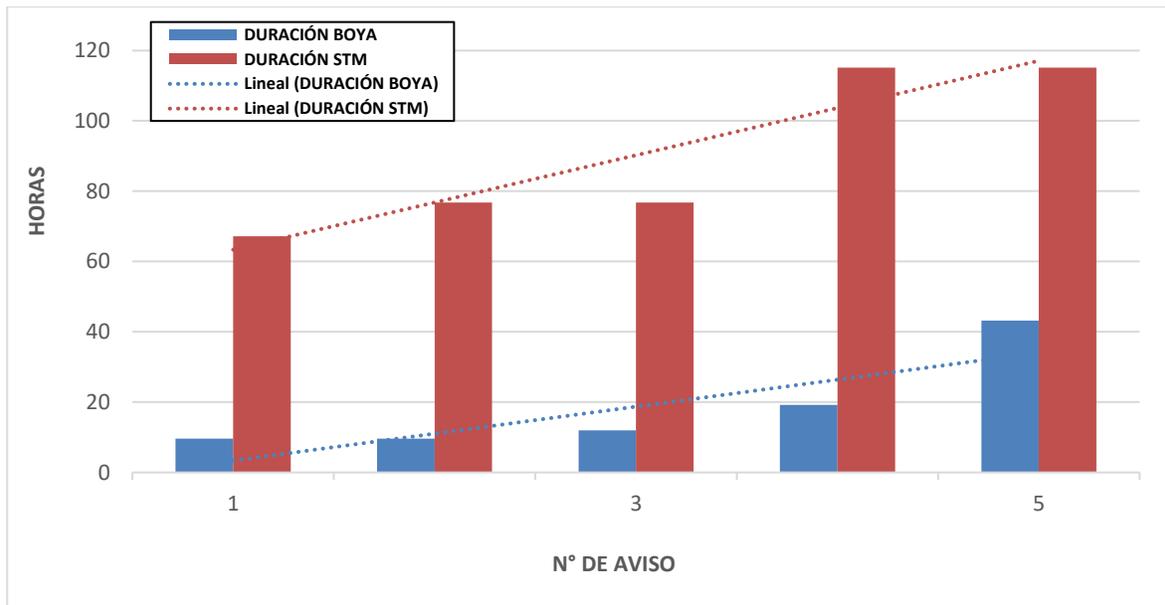
En la Figura 37 se mantiene la propensión respecto a los avisos entregados por SERVIMET en comparación a las mediciones de las boyas. En la Tabla 23 se aprecia la duración promedio de ambas bases de datos, así como la diferencia existente entre ambas.

Tabla 23: Duración promedio y desviación estándar de los avisos de SMT respecto a Boyas en Lebu.

	SMT [Hrs]	BOYA [Hrs]	DIFERENCIA [Hrs]
PROMEDIO	90.2	18.7	71.5
DESV. EST.	23.1	14.2	8.9

Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL

Figura 37: Duración de los avisos SERVIMET respecto a las mediciones de boyas en Lebu.



Fuente: Elaboración Propia mediante EXCEL.

8 DISCUSIÓN

Respecto a la comparación realizada entre la base de datos de SERVIMET Y la de las boyas, cabe mencionar que es posible que las diferencias no logren ser muy representativas. Esto, debido a la escasa cantidad de datos con los que se cuenta en relación a las boyas para el periodo de estudio. Además, es importante destacar que SERVIMET realiza pronósticos para sus avisos de marejadas con criterios aplicados a aguas profundas, mientras que las boyas están ubicadas en la zona costera, en aguas intermedias o someras, por lo que sus mediciones pueden no ser lo suficientemente congruentes para realizar un análisis óptimo.

Para este capítulo, se entregarán los análisis para los 2 casos comparativos que se efectuaron en este proyecto.

1. SERVIMET – SAM
2. SERVIMET – BOYAS

8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis a efectuar se realiza en base a 4 tópicos principales:

- A. Coincidencia entre los avisos.
- B. Diferencias entre los tiempos de arribo del evento.
- C. Diferencias entre los tiempos de término del evento.
- D. Diferencia entre la duración de los avisos y mediciones.

8.1.1 SERVIMET – SAM

Este análisis presenta las diferencias existentes entre los pronósticos de marejadas dispuestos por SAM, respecto a los avisos entregados por SERVIMET.

- A. Existe una clara diferencia entre los avisos que entregan ambas entidades, ya que como se puede apreciar en la Figura 12, más de la mitad de los avisos de marejadas no coinciden entre ellos, no solo en las localidades donde se presentan resultados en este informe, si no que en todas las localidades que fueron estudiadas.

Esto se traduce en la existencia de desfases en los tiempos de arribo y término entre los avisos, así como también diferencias entre sus duraciones.

- B. Respecto a los desfases entre los tiempos de arribo de las marejadas, predominan los valores positivos, lo que indica que los avisos entregados por SAM llegan más

tarde respecto a los de SERVIMET. La Tabla 8, Tabla 10, Tabla 12 y Tabla 14 corroboran lo anterior.

Gráficamente, la desviación estándar está inclinada hacia los desfases en donde los eventos pronosticados por SAM llegan también antes que los de SERVIMET.

- C. En relación a los tiempos de término de los avisos, se aprecia una dispersión de datos cargada más hacia lo negativo, lo que nos indica que los avisos dispuestos por SAM terminan de forma anticipada en relación a los de SERVIMET (ver Tabla 8, Tabla 10, Tabla 12 y Tabla 14).

A diferencia de los tiempos de arribo, la desviación estándar esta orientada hacia los desfases en donde los eventos de SAM finalizan de forma anticipada a los de SERVIMET.

- D. Respecto a la duración de los avisos, existe una clara diferencia entre los de SERVIMET y SAM. SERVIMET define tiempos muy extensos a sus avisos, lo que corrobora la hipótesis respecto a que esto provoca que se paralicen las actividades en la zona costera de forma injustificada. Un claro ejemplo son los que se expresan en la Tabla 9, Tabla 11, Tabla 13 y Tabla 15, en donde existen diferencias de duración promedio de 76,4 horas para el caso de Lebu.

8.1.2 SERVIMET – BOYAS

Este análisis detalla la gran diferencia que existe entre las mediciones realizadas mediante las boyas, respecto a los avisos de marejadas entregados por SERVIMET.

- A. Existe una clara diferencia entre los avisos que entregan SERVIMET y los datos obtenidos de las mediciones de boyas. Como se puede apreciar en la Figura 25, más de la mitad de los avisos de marejadas no coinciden con las mediciones de las boyas, en localidades como Valparaíso y Lebu, la coincidencia es aún menor. Esta diferencia puede deberse a que SERVIMET entrega avisos de marejadas para aguas profundas, mientras que las mediciones de boyas son efectuadas más en la zona costera.
- B. Respecto a los desfases existentes entre los tiempos de arribo de los avisos de marejadas y las mediciones de las boyas, predominan los valores positivos, lo que indica que las marejadas medidas a través de las boyas llegan más tarde que el aviso efectuado por SERVIMET (ver Tabla 16, Tabla 18, Tabla 20 y Tabla 22). La desviación estándar corrobora lo anterior, ya que el conjunto de datos está cargado hacia los desfases positivos.

- C. En relación a los tiempos de término de los avisos, se aprecia una dispersión de datos cargada más hacia lo negativo, lo que permite concluir que las marejadas medidas a través de las boyas terminan de forma anticipada en relación a los avisos de SERVIMET (ver Tabla 16, Tabla 18, Tabla 20 y Tabla 22). También fue corroborado mediante la desviación estándar cuyos valores predominan en los desfases negativos.
- D. Respecto a la duración de los eventos y avisos de marejadas, existe una considerable diferencia entre aquellas que fueron medidas a través de boyas, respecto a las que fueron pronosticadas y avisadas por SERVIMET. Esta diferencia es apreciada en los resultados obtenidos, en donde los avisos de SERVIMET son claramente más extensos que la medición del fenómeno in situ. (ver Tabla 17, Tabla 19, Tabla 21 y Tabla 23). Un claro ejemplo es la localidad de Iquique, en donde la diferencia promedio de duración de avisos es de 70,7 horas.

Con esto se concluye que SERVIMET suele sobrestimar el fenómeno de las marejadas, por lo que sus avisos generalmente poseen ventanas muy extensas en comparación a la duración real del fenómeno. En ocasiones existe más de una marejada detectada por las boyas en un mismo mes o aviso, mientras que en dicho mes SERVIMET realiza solo un aviso el cual es muy extenso y donde están insertas estas marejadas. Es ahí donde se aprecian las potenciales ventanas de tiempo que pueden ser acotadas para considerar el no paralizar las actividades en la zona costera por periodos de tiempo muy largos.

Lo anteriormente mencionado puede deberse a varios factores. El principal factor a nuestra consideración se debe a que SERVIMET efectúa avisos de marejadas por tramos (varias localidades) de forma simultánea, por lo que no considera el tiempo que demora el evento en llegar a la localidad más distante de él. Esto hace que sectores alejados a la zona de generación de la marejada tengan que paralizar sus actividades durante días.

Otro factor preponderante, es que SERVIMET no establece horarios de inicio o término para sus avisos. Solo establecen AM y PM, por lo que las ventanas de tiempo son aún menos precisas.

9 CONCLUSIÓN

Este trabajo ha logrado dar respuesta a los objetivos planteados al inicio de proyecto, el cual consiste en analizar las distintas bases de datos (SERVIMET, SAM y boyas) para verificar la existencia de potenciales ventanas de tiempo que pudiesen ser acotadas para disminuir el tiempo en que los puertos y la zona costera en general debe hacer cese de sus operaciones para resguardar la seguridad de las personas. Esto con la finalidad de que este trabajo sirva por si alguna entidad competente busque atenuar las pérdidas económicas en sectores como los puertos, caletas, entre otros. Esto considerando que las marejadas han aumentado su frecuencia en las últimas décadas (Winckler et al., 2020) y considerando la proyección de que el cambio climático sería potencial responsable del aumento en la frecuencia de las marejadas, así como en su altura significativa (Lobeto et al., 2021).

A través de las comparaciones realizadas, se concluye que el Servicio Meteorológico de la Armada de Chile posee un modelo de pronóstico de oleaje capaz de detectar posibles marejadas, pero que no resulta ser óptimo si se desea aplicar en zonas cercanas a la costa, ya que en varias ocasiones genera avisos de marejadas que no se concretan, así como también avisos cuyo periodo de tiempo es muy extenso para lo que realmente dura el fenómeno.

Esto se debe a que SERVIMET realiza avisos de marejadas por tramos, en donde abarcan varias localidades de forma simultánea. Además, sus parámetros son aplicados a aguas profundas, por lo que pierde aún más precisión.

Se espera que con los avances tecnológicos y la cantidad de datos disponibles para los nodos de nuestro país, los avisos de marejadas sean más precisos, que se puedan realizar avisos para localidades de forma individual y aplicando criterios para aguas intermedias o someras.

Finalmente, se aspira a que esta investigación sea de utilidad para futuras investigaciones que permitan comprender la evolución de las marejadas en cuanto a cantidad e intensidad, contrastándose entre los distintos sistemas de pronósticos y mediciones que se utilizan actualmente, de tal forma de poder aplicar criterios y normas que ayuden a mejorar el uso de la zona costera de forma eficiente y segura. Además, que permita ser de ayuda para que entidades competentes puedan realizar avisos de forma más efectiva y certera.

10 ANEXOS

Anexo 1: Documentos utilizados en este proyecto

https://drive.google.com/drive/folders/1KCXDWZVR-j8k8Q1xFIRsMFc2AIDOSg3z?usp=share_link

11 REFERENCIAS

- Beyá, J., Álvarez, M., Gallardo, A., Hidalgo, H., Aguirre, C., Valdivia, J., . . . Molina, M. (2016). Atlas de Oleaje de Chile. Primera Edición. Escuela de Ingeniería Civil Oceánica - Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- CAMPORT. (2021). Reporte N°12, "Las marejadas llegaron para quedarse ¿Qué estamos haciendo?". Cámara Marítima y Portuaria de Chile A.G.
- Campos, R. (2016). ANÁLISIS DE MAREJADAS HISTÓRICAS Y RECIENTES EN LAS COSTAS DE CHILE. Valparaíso, Chile.
- DIRECTEMAR. (28 de Octubre de 2020). DIRECTEMAR. Obtenido de <https://www.directemar.cl/directemar/noticias-y-comunicaciones/noticias/2020/las-marejadas-llegaron-para-quedarse>
- La Oceanoteca. (Marzo de 2021). La Oceanoteca. Obtenido de <https://mobile.twitter.com/LaOceanoteca/status/1372330449574449154>
- Lobeto, H., Menéndez, M., & Losada, I. J. (2021). Las proyecciones de espectros direccionales ayudan a desentrañar el comportamiento futuro de las ondas de viento. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, Santander, España.
- Losada, M. A., & Jiménez-Curto, L. A. (1978). Análisis estadístico y espectral de regímenes. Curso de Puertos, Universidad de Santander, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Santander, España.
- Marítimo Portuario. (2017). Análisis de la Capacidad Operativa Portuaria Nacional y Requerimientos para Maniobras de Atraque y Desatraque.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2019). “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile.
- Molina, M., Correa, S., Vargas, D., Villalobos, D., Tapia, C., Quijada, F., . . . González, A. (2018). Desarrollo de un Sistema de Alerta de Marejadas en la Bahía de Valparaíso. Universidad de Valparaíso.
- Parra, C., & Beyá, J. (2017). Pronóstico operacional de oleaje para las costas y puertos de Chile, Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XXIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- Puelma, A., Vásquez, J., & Guerrero, F. (2016). Marejadas costa afuera, pronóstico de oleaje local y cierres de puerto.
- SERVIMET. (2016b). Análisis de eventos de marejadas en Chile. Servicio Meteorológico de la Armada, Valparaíso, Chile.
- SHOA. (1992). Pub. SHOA 3013. "Glosario de Marea y Corrientes".

- SHOA. (2001). Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. Obtenido de https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20170314/20170314120825/tabla_de_beaufort.pdf
- Silva, R. (2005). Análisis y descripción estadística del oleaje.
- Surf Atlántico. (s.f.). Las Olas - Surf Atlántico. Obtenido de <http://surfatlantico.weebly.com/las-olas.html>
- Winckler, P., Aguirre, C., Farías, L., Contreras, M., & Masotti, Í. (2020). Evidence of climate-driven changes on atmospheric, hydrological, and oceanographic variables along the Chilean coastal zone.
- Winckler, P., Contreras, M., Campos, R., Beyá, J., & Molina, M. (Septiembre de 2017). El temporal del 8 de agosto de 2015 en las regiones de Valparaíso y Coquimbo, Chile Central. Chile.
- Winckler, P., Esparza, C., Mora, J., Melo, O., Bambach, N., Contreras-López, M., & Sactic, M. (2022). Impacts in ports on a tectonically active coast for climate-driven projections under the RCP 8.5 scenario: 7 Chilean ports under scrutiny. Coastal Engineering Journal.