

## **SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

### **VII SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA**

#### **MAREJADAS COSTA AFUERA, PRONÓSTICOS DE OLEAJE LOCAL Y CIERRES DE PUERTO**

**ANDRÉS PUELMA MÜLLER <sup>1</sup>**  
**JAVIER VÁSQUEZ ÁLVAREZ <sup>2</sup>**  
**FELIPE GUERRERO MARTINEZ <sup>3</sup>**

#### **RESUMEN**

En los últimos años, la recurrencia de marejadas, algunas de considerable magnitud, ha instalado la percepción de que las marejadas llegaron para quedarse. Sin embargo, la detección y alertas de marejadas que emite la Autoridad Marítima no siempre son precisas, habiéndose presentado eventos que han debido ser cancelados, o se han mantenido, pero no llegan a ocurrir. Esto se puede deber a que la magnitud de las marejadas es poco precisa, o bien, que con la finalidad de preservar la seguridad en el mar, se adoptan criterios que podrán ser conservadores. Adicionalmente, los avisos de marejadas, para las que existe dicotomía entre sus criterios de emisión y sus definiciones, se emiten de manera transversal sin que exista una evaluación detallada respecto de su efecto en la costa para sectores cercanos que pueden presentar distinto grado de abrigo.

Consignar no solo la diferencia que existe entre las condiciones costa afuera y el borde costero, así como las diferencias entre distintos puntos de un mismo sector costero, sino que además conocer la evolución en el tiempo, puede ser relevante en lo que respecta a los cierres de puerto, los que, siguiendo la evolución de las marejadas, se han presentado en forma más frecuente.

En el presente trabajo se aborda la utilidad e importancia de contar con buenos pronósticos de oleaje a nivel local, y el efecto asociado a la operación portuaria, para lo que se recurre a un caso real.

<sup>1</sup> Ingeniero Principal, PRDW Consulting Port and Coastal Engineers, [apuelma@prdw.com](mailto:apuelma@prdw.com)

<sup>2</sup> Ingeniero Civil MSc, Director PRDW Consulting Port and Coastal Engineers, [jvasquez@prdw.com](mailto:jvasquez@prdw.com)

<sup>3</sup> Ingeniero Principal, PRDW Consulting Port and Coastal Engineers, [fguerrero@prdw.com](mailto:fguerrero@prdw.com)

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento de la frecuencia de avisos de marejada emitidos por el Servicio Meteorológico de la Armada, en el último tiempo se ha instalado la percepción de que las marejadas que se presentan principalmente en la zona centro y norte de Chile han aumentado en magnitud y frecuencia. Estos avisos, a veces poco precisos, inciden en cierres de puertos, con las consabidas repercusiones en los costos y eficiencia de este vital eslabón de la cadena logística en Chile.

En general, los avisos de marejadas identifican y cuantifican eventos en mar abierto (aguas profundas, costa afuera). Sin embargo, las características con que el oleaje se presenta en las aguas someras de la costa y bahías es distinto que en mar abierto, es distinto entre bahías cercanas y es incluso distinto entre sectores de una misma bahía. Por ello, se vuelve indispensable contar también con pronóstico a nivel local, con un grado de detalle que no solo permita conocer sus principales parámetros sino que además su evolución horaria en un horizonte de 7 a 10 días, de manera que permita planificar adecuadamente las operaciones marítimas y portuarias, anticipando los cierres y aperturas.

En el presente trabajo se hace una revisión del concepto de Marejadas y la justificación de las alertas. Además, se introduce -brevemente- un sistema de pronóstico desarrollado por PRDW, que hoy opera en varios puertos del país, con cuyos resultados se reconstruye el historial del oleaje en un puerto específico. Con ello se analiza la pertinencia de los cierres decretados para dicho puerto, y su impacto.

## 2. MAREJADAS

El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, consigna en su "Glosario de marea y corrientes" (SHOA, 2002) que una marejada es una "Ola larga ocasionada generalmente por una tormenta lejana; tienen por lo común varios centenares de metros de longitud". Esta definición no hace referencia a la altura del oleaje.

Por otra parte, el Servicio Meteorológico de la Armada (SERVIMET), utiliza también términos tales como "marejadilla", "marejada" y "gruesa". La única publicación nacional oficial hallada en que se describen dichos términos, corresponde a la "Carta de Estados de Mar y Escala Beaufort" (SHOA, 2001), que se resume a continuación en Tabla 1. En dicha carta, se indica que "el criterio del mar está concebido solo para aguas profundas".

El Estado de Mar se refiere a la clasificación ideada en los 1920s por el entonces Capitán Henry Percy Douglas (WMO, 2008), hidrógrafo de la Marina Real Británica, para estimar la rugosidad del mar para fines de navegación, y recomendada para su uso internacional en 1929 (UKMO, 2010).

La Carta de Estados de Mar del SHOA, resumida en la Tabla 1, recoge la descripción del aspecto del mar descritos en la escala internacional de Beaufort (UKMO, 2010), sin embargo, no se condice con ésta en cuanto a los rangos de altura del oleaje. Por su parte, el Estado de Mar parece haber sido adaptado de la escala de Douglas, la cual, hasta la séptima categoría, presenta los mismos rangos de altura de oleaje adoptados en la carta nacional.

**Tabla 1: Estados de Mar y Escala Beaufort utilizado en Chile.**

Fuerza (viento)	Magnitud viento [nudos]	Altura de ola [m]	Estado del mar	Aspecto del mar
0	1	0	Calma	Como espejo.
1	1 - 3	0.1	Llana	Pequeños rizos.
2 y 3	4 - 10	0.1 a 0.5	Rizada	Olas pequeñas.
4	11 - 16	0.5 a 1.25	Marejadilla	Olas pequeñas se hacen más grandes.
5	17 - 21	1.25 a 2.5	Marejada	Olas moderadas.
6	22 - 27	2.5 a 4.0	Gruesa	Se forman olas más grandes.
7	28 - 33	4.0 a 6.0	Muy Gruesa	Olas se amontonan.
8	34 - 40	6.0 a 8.0	Arbolada	Olas de altura media y mayor longitud.
9	41 - 47	8.0 a 10.0	Arbolada Alta	Olas altas. Crestas comienzan a enrollarse.
10	48 - 55	10.0 a 12.5	Montañosa	Olas muy altas con crestas colgantes.
11	56 - 63	12.5 a 16.0	Confusa	Olas excepcionalmente altas.
12	> 64	> 16	Huracanada	Aire lleno de espuma y rociones.

Fuente: Adaptado de (SHOA, 2001)

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), en la Tabla 2 se reproduce la Escala de Douglas (WMO, 2008), acompañada por la equivalente descripción en español de cada estado de mar, de acuerdo con la Agencia Estatal de Meteorología Española (AEMET, 2016).

**Tabla 2: Escala de Estados de Mar de Douglas.**

Código	Altura [m]	Descripción WMO	Descripción AEMET
0	0	Calm (glassy)	Calma o llana
1	0 a 0.1	Calm (rippled)	Rizada
2	0.1 a 0.5	Smooth (wavelets)	Marejadilla
3	0.5 a 1.25	Slight	Marejada
4	1.25 a 2.5	Moderate	Fuerte marejada
5	2.5 a 4	Rough	Gruesa
6	4 a 6	Very rough	Muy gruesa
7	6 a 9	High	Arbolada
8	9 a 14	Very high	Montañosa
9	más de 14	Phenomenal	Enorme

Fuentes: (WMO, 2008) y (AEMET, 2016)

Cabe destacar que la WMO, en lo que concierne a pronósticos y alertas, no recomienda el uso de estados de mar mientras que sí recomienda el uso de la altura del oleaje. Sin embargo, distintos servicios meteorológicos nacionales alrededor del mundo utilizan los estados de mar en lugar de la altura del oleaje, pero no se considera una práctica internacional formal.

A este respecto, el Servicio Meteorológico de la Armada presenta en sus pronósticos información combinada, indicando el estado de mar en cuanto a su clasificación, así como un rango de altura del oleaje. No obstante, la información presenta cierto grado de ambigüedad ya que los

rangos de altura no siempre se condicen con los Estados de Mar indicados. Por ejemplo, se puede indicar un rango de altura de 1.0 a 2.0 m, clasificando ambos límites como Marejadilla y Marejada, respectivamente, debiendo corresponder a Marejada y Fuerte Marejada de acuerdo con la clasificación internacional. Se denota además que a veces no se hace diferencia entre Marejada y Fuerte Marejada, descritas en la clasificación internacional, utilizando solamente la descripción "Marejada" para el rango completo de 0.5 a 2.5 m.

Independiente de las distintas definiciones, internacionales o nacionales, respecto de los estados de mar y sus rangos de altura, se debe recalcar que estos corresponden por definición a aguas profundas. Los pronósticos a nivel costero, incluyendo los Pronósticos de Bahías (SERVIMET, 2016a) (sólo Valparaíso, Talcahuano y Puerto Montt), corresponden a estimaciones muy generales y cualitativas, indicando solo la clasificación del estado de mar esperado (rizada, marejadilla, etc.).

Durante 2016, a raíz de la seguidilla de eventos de marejada alertados por el Servicio Meteorológico de Armada, este presentó un informe (SERVIMET, 2016b) en que se dan a conocer los siguientes criterios:

**Tabla 3: Criterios nacionales 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 CONSIDERADO	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 CONSIDERADO	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)

El término "anormal" fue adoptado por el Servicio Meteorológico en 2012, para clasificar a las marejadas de fuerza excepcional (SERVIMET, 2016b).

Aunque en la clasificación de estos eventos se utilizan criterios sobre la base de las condiciones costa afuera, 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.

Se puede notar que “las definiciones” y “los criterios” no son siempre compatibles. Por ejemplo, las bahías Mejillones del Sur (Mejillones) y Moreno (Antofagasta), presentan las mismas condiciones en aguas abiertas, costa afuera de la Península de Mejillones. De acuerdo con “el criterio”, que no mira hacia la costa, una condición de altura de ola de  $H_{m0} = 5\text{m}$  del SW en aguas profundas constituye una marejada anormal tanto para Antofagasta como para Mejillones. Dada la distinta exposición de ambas bahías en relación al oleaje del SW, este evento podría causar serios inconvenientes en el puerto de Antofagasta, sin embargo, su efecto sería poco sensible en los puertos de Mejillones, sobre todo si se presenta con bajo periodo (para las marejadas del SW no se discrimina el periodo). Es decir que, esta vez de acuerdo con “la definición”, este evento constituye al mismo tiempo una marejada anormal para Antofagasta y una marejada (o ni siquiera eso) en los puertos de la Bahía de Mejillones.

Esta situación se repite en el litoral del país, donde la diferente exposición de bahías vecinas puede influir en importantes diferencias respecto de cómo se percibe localmente un evento de marejada.

Existen entonces al menos 5 conceptos distintos para las marejadas, los que podrían confundir al usuario marítimo:

- Escala de Douglas (WMO, 2008).
- Carta de Estados de Mar y Escala Beaufort (SHOA, 2001).
- Glosario de Marea y Corrientes (SHOA, 2002).
- Criterios para la emisión de avisos de marejadas (SERVIMET, 2016b).
- Definición de acuerdo con su efecto en la costa (SERVIMET, 2016b).

Un segundo aspecto a analizar respecto de los avisos de marejadas, es la relación entre la magnitud y la duración de dichos eventos. Sobre esto, cabe destacar que los distintos Servicios y Direcciones de la Armada de Chile, tienen entre sus principales misiones la de preservar la seguridad y resguardar la vida humana en el mar. En cumplimiento de dicha misión, al existir evidencia de una próxima marejada, se informa la duración y evolución espacial del evento (a lo largo de la costa del país), y la magnitud esperada del pico del evento. Sin embargo, la información emitida no permite conocer la evolución temporal de las marejadas, es decir, identificar los momentos en que se espera que la altura del oleaje sobrepase cierto umbral, alcance su pico para luego manifiestamente declinar, y finalmente descender bajo dicho umbral.

Con todo lo anterior, las Capitanías de Puerto, cuyas decisiones de aperturas y cierres de puertos dependen de la información oficial emitida por SERVIMET, cuentan con herramientas y datos que solo les permite adoptar criterios conservadores, pudiendo presentarse situaciones dónde se

cierra un puerto tempranamente y se abre tardíamente. A ello se suma, en ocasiones, cierres de puerto que posteriormente resultan ser injustificados.

Es sabido que para contar con información complementaria, en distintas Capitanías de Puerto, Gobernaciones Marítimas, Cuerpos de Prácticos e incluso en puertos, se consultan servicios de pronóstico de oleaje tales como Buoyweather<sup>1</sup>, WindGuru<sup>2</sup> o MagicSeaweed<sup>3</sup>. Estos servicios, orientados muchas veces a los deportes náuticos, proporcionan datos de oleaje en aguas profundas (mar abierto), o bien, a una gruesa estimación de las condiciones costeras. Esta aproximación no es suficiente para estimar el oleaje en los puertos, ya que en aguas someras se producen efectos de refracción, difracción y otros, que pueden modificar en forma relevante las características del oleaje. En general, servicios de pronóstico como los mencionados no toman en cuenta estos procesos costeros.

### 3. PRONÓSTICO DE OLAJE LOCAL

En el medio nacional, existen sistemas de pronóstico de oleaje local, es decir, específicos para cada puerto, e incluso para cada muelle de un mismo puerto, que permiten prever la condición del oleaje con un alto nivel de precisión, tanto en la magnitud de la altura y el periodo del oleaje, como en su evolución temporal. Estos, pueden además ser calibrados con mediciones de oleaje local (dato duro), mejorando así su confiabilidad.

Uno de estos servicios, es el sistema AWFOS (*Automated Wave Forecast System*) desarrollado en Chile. AWFOS permite emitir pronósticos diarios con un horizonte de 10 días y con discretización de estados de mar cada 3 horas. Cada usuario recibe el pronóstico de oleaje local vía correo electrónico, pudiendo ser también consultado vía web de manera gráfica.

El sistema utiliza un pronóstico de oleaje a escala global (aguas profundas), la selección en dicho modelo del nodo más cercano al sector costero de interés, y la propagación del oleaje resultante en dicho nodo de aguas profundas hasta el punto de interés que se defina, mediante un modelo matemático acoplado.

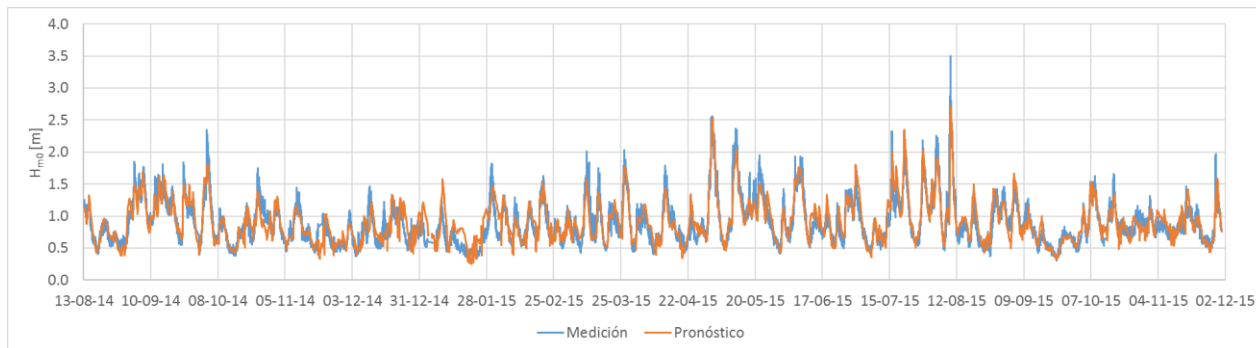
Se ha podido verificar que AWFOS presenta una alta correlación con mediciones de campo, como se aprecia en las Figuras 1 y 2. En estas se comparan 16 meses de pronósticos y mediciones de altura de oleaje, correspondientes al muelle del Terminal Marítimo Patache (TMP), Iquique. Particularmente en la Figura 2, se aprecia que el modelo puede llegar a presentar una alta correlación con las mediciones, sin embargo, dada su naturaleza predictiva, es también esperable que el modelo presenté cierto grado de dispersión, pudiendo tanto subestimar como sobrestimar la altura de oleaje.

---

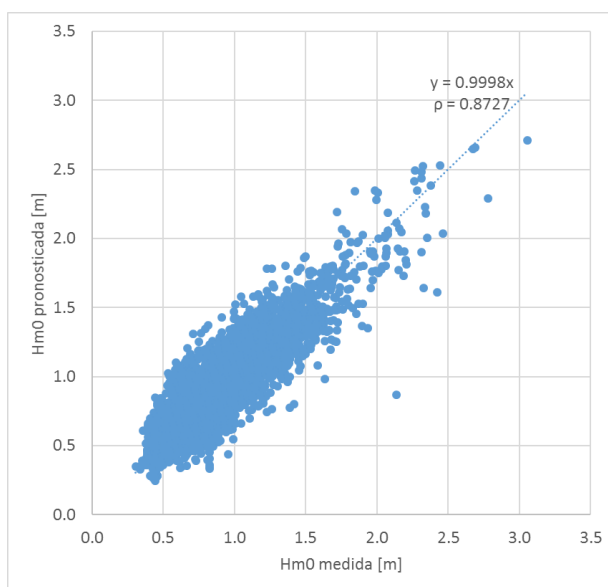
<sup>1</sup> [www.buoyweather.com](http://www.buoyweather.com)

<sup>2</sup> [www.windguru.cz](http://www.windguru.cz)

<sup>3</sup> [www.magicseaweed.com](http://www.magicseaweed.com)



**Figura 1: Altura del oleaje medida y pronosticada en TMP, Ago 2014 – Dic 2015.**



**Figura 2: Relación entre altura del oleaje medida y pronosticada en TMP, Ago 2014 – Dic 2015.**

#### 4. CIERRES DE PUERTO

Sobre la base de la buena correlación entre las mediciones y el pronóstico de alturas significativas ( $H_{m0}$ ) de oleaje generada por el sistema AWFOs para el Terminal Marítimo Patache, se reconstruyó el historial de oleaje de dicho puerto entre enero de 2012 y diciembre de 2015. El historial se compone de datos de pronóstico entre 2012 y mediados de agosto de 2014, para luego continuar con datos medidos.

La finalidad de esta reconstrucción del historial de oleaje, es compararlo con el historial de cierres de puerto experimentados por TMP en el mismo periodo de tiempo. A su vez, la altura del oleaje y los cierres, son comparados con los umbrales operacionales establecidos por la Autoridad, que corresponden a alturas significativas máximas de  $H_{m0}= 1.5m$  para las maniobras, y  $H_{m0}= 2.0m$  para la permanencia de las naves (DIRECTEMAR, 2015).

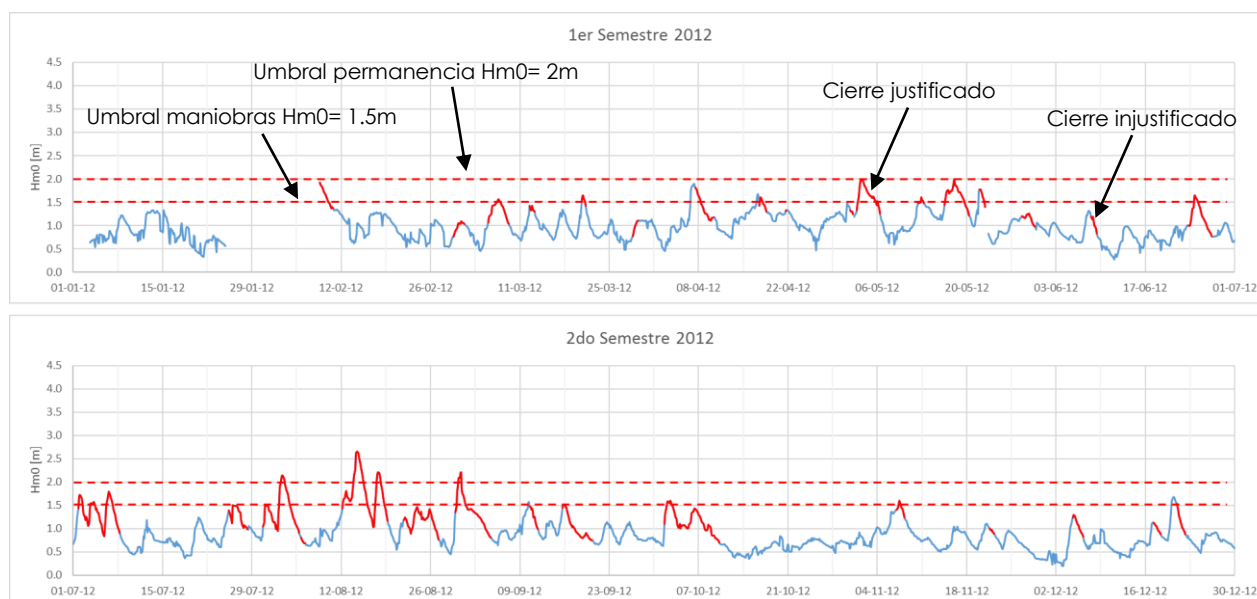
Las alturas límite para la operación, corresponden a alturas significativas máximas, que no se deben confundir con las alturas máximas de los estados mar. Esto se debe a que es efectivamente la altura significativa ( $H_s$  o  $H_{m0}$ ) el estadígrafo por excelencia que es utilizado, por ejemplo, en oceanografía, cálculos de ingeniería, y simulaciones de maniobras y cálculo de remolcadores, que constituyen los estudios de maniobras, como es el caso de TMP (Tirreno Ltda., 1999).

Para el análisis, TMP proporcionó sus registros de cierres de puerto entre 2012 y 2015, que suman 138 eventos, equivalentes a 26.9% del tiempo, o un promedio de 98 días por año. Se registran además otros 107 cierres de puerto, asociados a viento y tsunami (Iquique, 2014), pero que equivalen a solo 2.8% del tiempo o 10 días al año y que no son considerados en el presente análisis.

Por simplicidad, dicho análisis se centra en la comparación de la altura del oleaje con el umbral para maniobras (amarre y corridas) de  $H_{m0} = 1.5m$ .

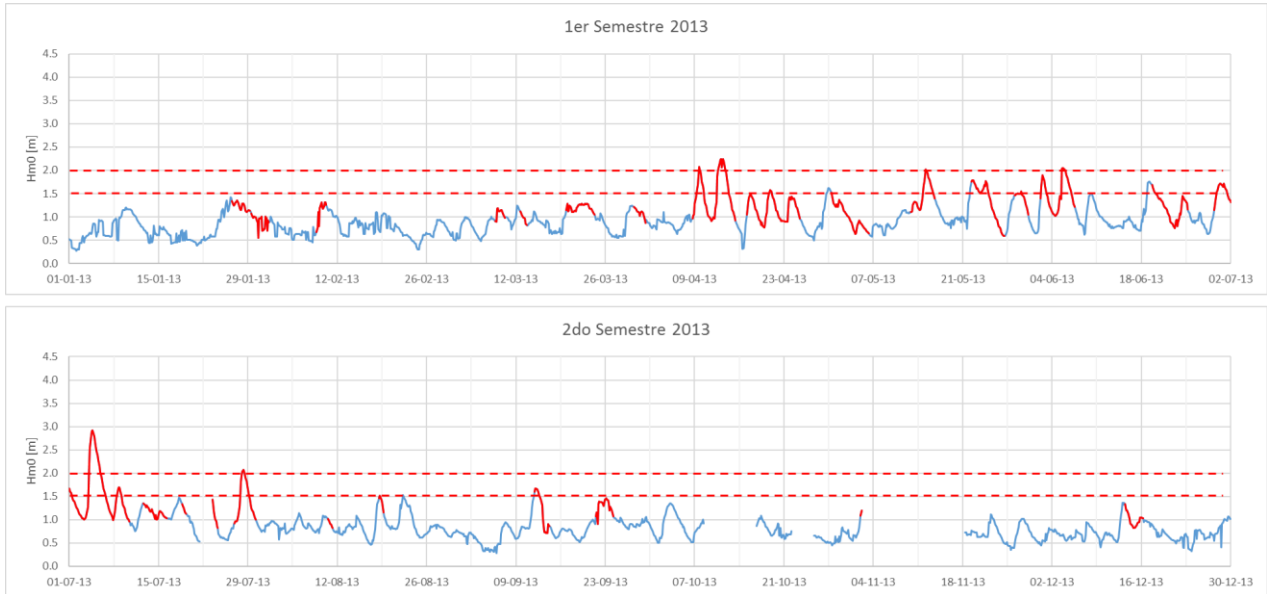
En las Figuras 3 a 6 se presenta la serie de tiempo de la altura  $H_{m0}$ , por semestres. Los tramos destacados en rojo, corresponden a periodos en que se decretó el cierre del puerto. Aunque la Figura 3 corresponde a un periodo de tiempo en que la serie fue reconstruida y por lo tanto está sujeta a imprecisiones, se utiliza a modo de ejemplo, para indicar cuándo un cierre de puerto se considera justificado o no.

Al comparar los eventos de cierre con el umbral de  $H_{m0} = 1.5m$ , se distinguen eventos que no cumplieron la condición de cierre, tanto para tramos de tiempo reconstruidos sobre la base del pronóstico como tramos comprendidos por mediciones. Es deducible que dichos cierres fueron decretados sobre la base de avisos de marejadas previstas costa afuera, que no necesariamente afectaban a la bahía de Patache.

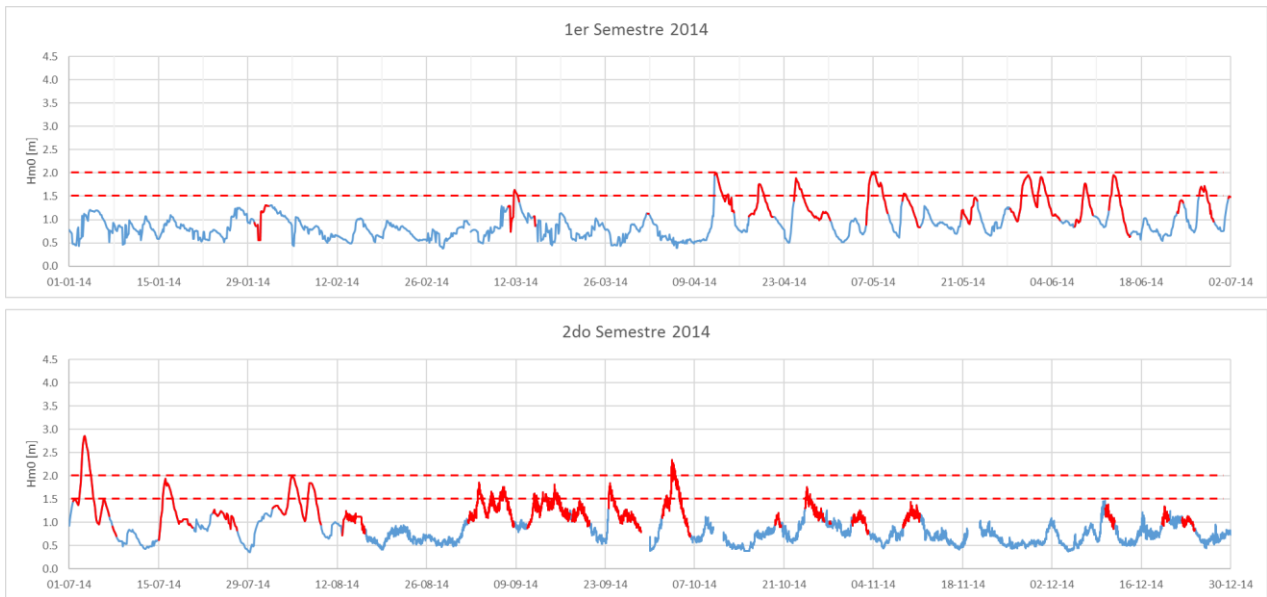


**Figura 3: Altura de oleaje y cierres de puerto en TMP, año 2012.**

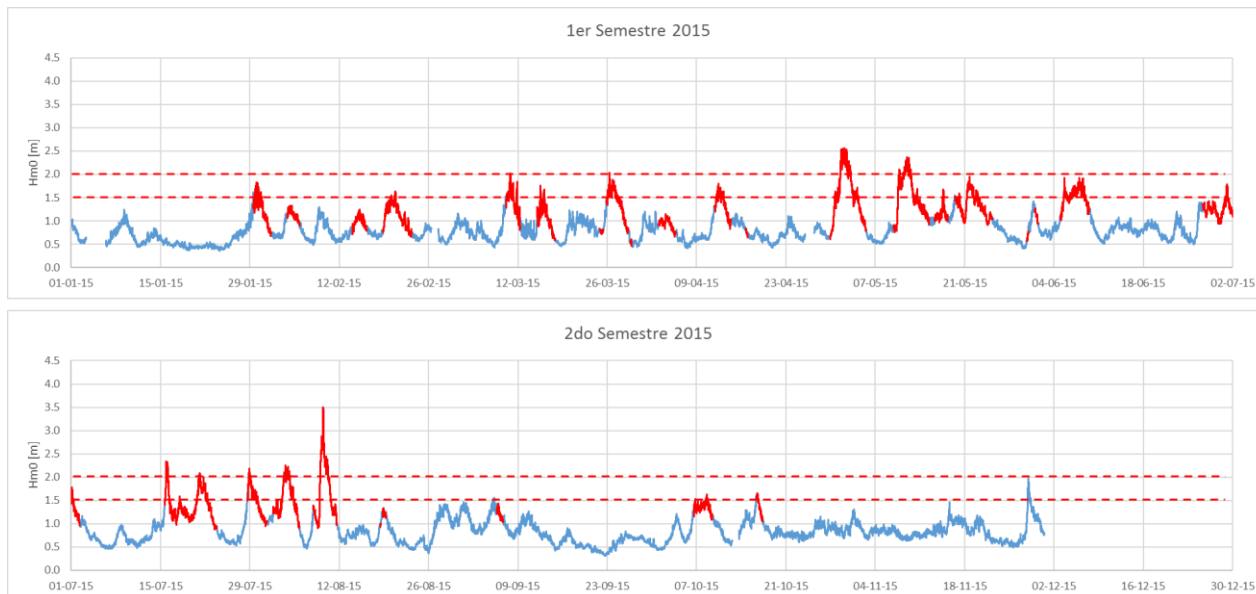




**Figura 4: Altura de oleaje y cierres de puerto en TMP, año 2013.**



**Figura 5: Altura de oleaje y cierres de puerto en TMP, año 2014.**



**Figura 6: Altura de oleaje y cierres de puerto en TMP, año 2015.**

Analizando solamente la máxima altura significativa alcanzada durante cada uno de los periodos de cierre de puerto, se contabilizó un total de 67 ocasiones en que el cierre fue injustificado (49% de las ocasiones). En términos de tiempo, equivale a cerca de 100 días entre 2012 y 2015, distribuidos de acuerdo con lo indicado en la Tabla 4, que equivalen a un 27% de cierres injustificados (en términos de tiempo, no de número de ocurrencias).

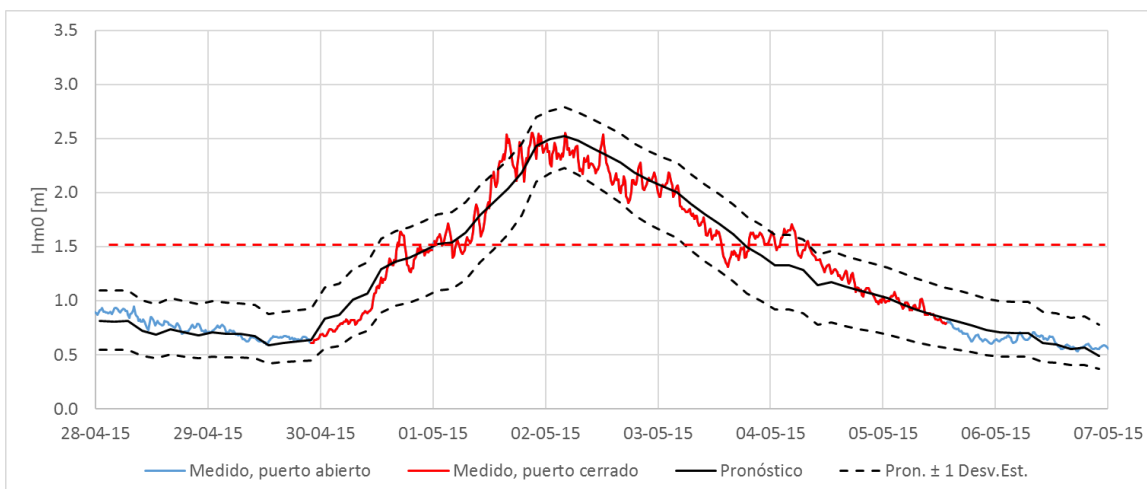
**Tabla 4: Cierres de puerto injustificados en TMP.**

Año	2012	2013	2014	2015	Total
Número de cierres	33	32	41	32	138
Tiempo de cierres	89 días	96 días	111 días	80 días	376 días
Número injustificado	14	19	22	12	67
Tiempo injustificado	21 días	40 días	29 días	10 días	100 días

Parte del registro corresponde a una reconstrucción del historial del oleaje en términos de lo que hubiese sido su pronóstico. Por lo tanto, asociado a la incertidumbre de la predicción, puede haber errores en la evaluación de la pertinencia de los cierres. Luego, asignando un alto grado de confiabilidad a las mediciones realizadas desde agosto de 2014, se realizó el mismo análisis anterior sólo con el registro de las mediciones. El resultado es que 24 de los 49 cierres (49%) fue injustificado y que hubo 28 días de tiempo acumulado en cierres injustificados entre los 123 días de tiempo acumulado en el total de cierres (23% de tiempo injustificado), asemejándose a la estadística total presentada en Tabla 4.

Adicionalmente, entre los eventos plenamente justificados, debidos a que la altura del oleaje efectivamente alcanzó o sobrepasó el umbral en cuestión, se observa que la duración de un cierre puede exceder con creces lo que podría ser considerado prudente, incluso considerando

la incertidumbre en el valor de la altura de oleaje pronosticada. En la Figura 7, se puede observar un ejemplo de principios de mayo de 2015.



**Figura 7: Altura de oleaje medida y pronosticada, y cierre de puerto en TMP, mayo 2015.**

En la Figura 7 se observa, en primer lugar, que el pronóstico representó de manera confiable la evolución y magnitud de la altura del oleaje. Se observa, además, que el puerto fue cerrado cerca de 16 horas antes de que la altura del oleaje sobrepasara el umbral para maniobras, decisión que se estima adecuada debido a que la nave que hubiese realizado la maniobra de amarre antes de dicho momento, no hubiese podido permanecer dado que también se excedió el umbral para la permanencia, de  $H_{m0} = 2.0\text{m}$ . Sin embargo, la reapertura del puerto ocurrió más de 24 horas después de que la altura del oleaje descendiera por debajo del umbral para maniobras de  $H_{m0} = 1.5\text{m}$ , no tomando en cuenta que la tendencia pronosticada era claramente hacia la baja.

De este ejemplo, se puede plantear que para la apertura del puerto, se utilice el pronóstico del oleaje, monitoreando la medición instantánea del oleaje hasta observar que, tras descender de  $H_{m0} = 1.5\text{m}$ , la altura registre un marcado descenso durante un cierto periodo de tiempo, o bien, alcance un cierto margen respecto del umbral. Este criterio podrá ser definido en función de la precisión del pronóstico en cada lugar. Adoptando -por ejemplo- un periodo de tiempo de 6 horas de espera tras descender bajo el umbral, el puerto se pudo haber abierto a las 14:00 del 4 de mayo, en lugar de las 13:30 del día siguiente.

Aunque es muy difícil que los cierres y aperturas se ajusten a solo algunas horas del momento de sobrepaso o descenso respecto de un umbral, se realizó un ejercicio idealizando dicha situación, es decir, se contabilizó no solo el tiempo asociado a cierres injustificados, sino además el tiempo de exceso de los cierres justificados, por la vía de contabilizar todo el tiempo en que el puerto estuvo cerrado con alturas por debajo de  $H_{m0} = 1.5\text{m}$ . El resultado se presenta en la Tabla 5.

**Tabla 5: Tiempos de cierres de puerto en TMP.**

Año	2012	2013	2014	2015	Total
Días de cierre efectivos	89	96	111	80	376
Días de cierre bajo $H_{m0}=1.5m$	63	72	84	57	276
Días de cierre optimizado	26	24	27	23	100

El caso de análisis, permite apreciar el impacto de la evaluación de las condiciones de cierre en la operación portuaria. En el caso de puertos con flota cautiva, el impacto puede ser menor y derivar en que el perjuicio de un mes sea compensado al siguiente. En otros casos, la carga podrá desviarse a otro puerto.

## 5. CONCLUSIONES

En el último año, las marejadas se han instalado como un tema con presencia a nivel nacional, principalmente porque han ocurrido hechos que hacen presumir que su magnitud y frecuencia está en franco aumento. La percepción del aumento en la frecuencia es debatible, ya que se basa en la cantidad de avisos emitidos, desconociendo si los criterios han evolucionado en los últimos años. Así mismo, que la magnitud esté en aumento es una tendencia que deberá ser observada y evaluada, evitando especulaciones sin el debido fundamento técnico.

Para la actividad portuaria los pronósticos de oleaje son un aspecto sensible, por lo que las mejoras en precisión, como en afinar los criterios, pueden ser un aporte a la eficiencia y seguridad.

Mediante el uso de un modelo de pronóstico confiable, calibrado con cerca de un año de mediciones *in situ*, se reconstruyó el historial del oleaje en un puerto del norte del país entre los años 2012 y 2015, develando que con mejor información, los cierres de puerto pueden ser mejor ajustados. Para el caso analizado, el uso de un sistema de pronóstico de oleaje local podría haber incrementado la disponibilidad operacional de 74% a 81% como promedio en los 4 años analizados.

Se puede plantear que, si un puerto implementa un sistema de pronóstico de oleaje local confiable, éste pueda ser compartido con la Autoridad Marítima local, la que de esta forma dispondrá de una herramienta adicional para mejorar sus procedimientos y apoyo a las actividades marítima y portuarias.

## 6. REFERENCIAS

AEMET. (29 de Agosto de 2016). *Agencia Estatal de Meteorología Española*. Obtenido de Escalas de viento y oleaje: [http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/maritima/escalas\\_de\\_viento\\_y\\_oleaje.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/maritima/escalas_de_viento_y_oleaje.pdf)

DIRECTEMAR. (2015). C.P. PAT. Ordinario N° 4910/1 VRS., *Resolución local de habilitación que establece las condiciones de operación de los terminales marítimos de la jurisdicción de la Capitanía de Puerto de Patache*. Patache, Chile.

Radio Biobío. (31 de Diciembre de 2015). *Armada cancela alerta de marejadas para la noche de Año Nuevo*. Obtenido de <http://www.biobiochile.cl/noticias/2015/12/31/armada-cancela-alerta-de-marejadas-para-la-noche-de-anno-nuevo.shtml>

SERVIMET. (2016a). *Servicio Meteorológico de la Armada de Chile*. Obtenido de [http://meteoarmada.directemar.cl/prontus\\_meteo/site/edic/base/port/inicio.html](http://meteoarmada.directemar.cl/prontus_meteo/site/edic/base/port/inicio.html)

SERVIMET. (2016b). *Servicio Meteorológico de la Armada, Análisis de eventos de marejadas en las costas de Chile*. Valparaíso, Chile.

SHOA. (2001). *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Carta de Estados de Mar y Escala Douglas*. Valparaíso, Chile.

SHOA. (2002). *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, Pub. 3103. Glosario de marea y corrientes*. Valparaíso, Chile.

Tirreno Ltda. (1999). *Estudio de maniobrabilidad terminal descarga de carbón en Caleta Patache, Primera Región*. Viña del Mar.

UKMO. (2010). *United Kingdom Met Office, Fact sheet 6 - The Beaufort Scale*. Devon, UK: National Meteorological Library.

WMO. (2008). *World Meteorological Organization, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Ginebra, Suiza.