



EVALUACIÓN DEL RECURSO ENERGÉTICO ASOCIADO A OLEAJE EN ISLA DE PASCUA E ISLA ROBINSON CRUSOE CHILE

Grupo de Ingeniería Civil Oceánica

Facultad de Ingeniería
Universidad de Valparaíso
56 | 32 | 2995916 - 2995922
Av. Brasil 1786 | Valparaíso
www.ingenieriaoceanica.cl

PREPARADO PARA FUNDACIÓN CHILE
Junio de 2016

1 RESUMEN

Fundación Chile en el marco del proyecto FIC-R "**Estrategia energética para el desarrollo de la energía marina en comunidades costeras de la región de Valparaíso**" código bip n° 30351028-0, ha solicitado a la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso la realización de un estudio para cuantificar el recurso energético undimotriz en las cercanías de Isla de Pascua e Isla Robinson Crusoe.

Para ello, se generaron dos bases de datos de oleaje espectral de aguas profundas de 24 años en las cercanías de los sitios de interés. Con esta información se realizó una propagación de oleaje con SWAN v. 41.01 la que, mediante la aplicación de una metodología de transferencia espectral, permitió generar oleaje espectral en todos los puntos en un dominio espacial de 100 y 25 [m] de resolución en torno a las islas.

En cada punto del dominio se realizó un análisis de la información para obtener resultados estadísticos de la distribución de la potencia del oleaje en el espacio. A partir de éstos resultados, se pre-seleccionaron 5 sitios de interés por cada isla, de los cuales se escogieron 3 ubicados a una profundidad de 30 [m].

El análisis de cada sitio permite establecer que, en Isla de Pascua, el valor medio de la altura significativa varía entre $H_{m0} = 2.33 - 2.75$ [m], mientras que el periodo energético presenta entre $T_e = 11.2 - 11.6$ [s]. La potencia del oleaje presenta valores medios entre $P = 37 - 41$ [kW/m] y la disponibilidad energética anual varía entre 333 y 469 [MWh/m]. En el caso de Isla Robinson Crusoe, el valor medio de la altura significativa varía entre $H_{m0} = 1.97 - 2.93$ [m], mientras que el periodo energético presenta valores medio entre $T_e = 10.7$ y 11.0 [s]. La potencia del oleaje presenta valores medios entre $P = 23 - 54$ [kW/m] y la disponibilidad energética anual varía entre 194 y 476 [MWh/m].

Considerando criterios de disponibilidad energética, accesibilidad y calidad de la información batimétrica, el estudio concluye con la recomendación de los sitios IP4 y RC1 para un futuro análisis de factibilidad técnica económica de una planta de generación eléctrica a partir de energía undimotriz.

CONTENIDOS

1	RESUMEN.....	2
2	INTRODUCCIÓN	8
3	ESTADÍSTICA DE OLEAJE DE AGUAS PROFUNDAS	10
3.1	Isla de Pascua	11
3.2	Isla Robinson Crusoe	13
4	METODOLOGÍA	15
4.1	Configuración de la simulación numérica.....	15
4.2	Calidad de la información batimétrica.....	20
4.3	Metodología de estimación de la potencia	21
5	RESULTADOS EN ISLA DE PASCUA	22
5.1	Distribución espacial de potencia de oleaje	22
5.2	Definición de sitios de interés	25
5.3	Sitio 2 (IP2)	29
5.4	Sitio 4 (IP4)	31
5.5	Sitio 5 (IP5)	33
6	RESULTADOS EN ISLA ROBINSON CRUSOE	35
6.1	Distribución espacial de potencia de oleaje	35
6.2	Definición de sitios de interés	38
6.3	Sitio 1 (RC1)	42
6.4	Sitio 3 (RC3)	44
6.5	Sitio 4 (RC4)	46
7	ANÁLISIS DE SITIOS SELECCIONADOS	48
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
9	REFERENCIAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Imagen referencial Isla de Pascua.....	9
Figura 2 Imagen referencial Isla Robinson Crusoe.....	9
Figura 3: Ubicación de la información espectral de aguas profundas de Isla de Pascua.....	10
Figura 4: Ubicación de la información espectral de aguas profundas de Isla Robinson Crusoe, vista del Archipiélago de Juan Fernández.	10
Figura 5: Rosa de oleaje en aguas profundas de altura significativa y periodo energético, Isla de Pascua.....	11
Figura 6: Espectro promedio de aguas profundas en Isla de Pascua. Las curvas y colores representan energía, la grilla representa la discretización del espectro.	12
Figura 7: Rosa de oleaje en aguas profundas de altura significativa y periodo energético, Robinson Crusoe.....	13
Figura 8: Espectro promedio de aguas profundas en Robinson Crusoe. Las curvas y colores representan energía, la grilla representa la discretización del espectro.	14
Figura 9: Dominio de resolución 300 [m] (IP300) utilizado para simulación con SWAN en Isla de Pascua. Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación. Se indican grillas de resolución 100 [m] y 25[m].....	16
Figura 10: Dominio de resolución 300 [m] utilizado para simulación con SWAN en Isla Robinson Crusoe para las direcciones entre 255° y 275° (JF1 y JF2). Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación.....	17
Figura 11: Dominio de resolución 300 [m] (RC300) utilizado para simulación con SWAN en Isla Robinson Crusoe. Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación. Se indican grillas de resolución 100 [m] y 25[m].....	17
Figura 12: Altura significativa y dirección promedio en Isla de Pascua.....	22
Figura 15: Altura significativa que es superada el 5% del tiempo en Isla de Pascua.....	23
Figura 16: Porcentaje de tiempo en que la altura significativa supera 1 [m] en Isla de Pascua.	23
Figura 17: Potencia y dirección media en Isla de Pascua.....	24
Figura 18: Potencia que es superada el 80% del tiempo en Isla de Pascua.....	24
Figura 19: Sitios de interés en Isla de Pascua.	26
Figura 20: Batimetría en sitios de interés en Isla de Pascua.	26
Figura 21: Mapa de alta resolución de potencia en el dominio IP25(1) en Isla de Pascua.	27
Figura 23: Mapa de alta resolución de potencia en Isla de Pascua. Arriba el dominio IP25(2), abajo el dominio IP25(3).	28

Figura 24: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 2 de Isla de Pascua.....	29
Figura 25: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 2 de Isla de Pascua.....	30
Figura 26: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 2 de Isla de Pascua.....	30
Figura 27: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 4 de Isla de Pascua.....	31
Figura 28 Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 4 de Isla de Pascua.....	32
Figura 29 Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 4 de Isla de Pascua.....	32
Figura 30: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 5 de Isla de Pascua.....	33
Figura 31 Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 5 de Isla de Pascua.....	34
Figura 32 Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 5 de Isla de Pascua.....	34
Figura 33 altura significativa y dirección promedio en Isla Robinson Crusoe.....	35
Figura 34 Altura significativa de oleaje que es superada el 5% del tiempo en Isla Robinson Crusoe.....	36
Figura 35: % de tiempo en el que la altura de ola tiene valor superior a 1m en Isla Robinson Crusoe.....	36
Figura 36: Potencia y dirección media en Isla Robinson Crusoe.....	37
Figura 37: Potencia de ola que es superada el 20% del tiempo en Isla Robinson Crusoe.....	37
Figura 38: Sitios de interés en Isla Robinson Crusoe.....	39
Figura 39: Información batimétrica en Isla Robinson Crusoe.....	40
Figura 42: Mapa de alta resolución de la potencia en Isla Robinson Crusoe. Arriba dominio RC25(1), centro dominio RC25(2), abajo dominio RC25(3).....	41
Figura 43: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 1 de Robinson Crusoe.....	42
Figura 44: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 1 de Isla Robinson Crusoe.....	43

Figura 45: Variabilidad mensual de potencia para distintos percentiles en el sitio 1 de Isla Robinson Crusoe.	43
Figura 46: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 3 de Isla Robinson Crusoe.	44
Figura 47: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 3 de Robinson Crusoe.	45
Figura 48: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 3 de Robinson Crusoe.	45
Figura 49 Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 4 de Isla Robinson Crusoe	46
Figura 50: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 4 de Robinson Crusoe.	47
Figura 51: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 4 de Robinson Crusoe.	47
Figura 52: Probabilidad de excedencia de altura significativa en los sitios seleccionados.	48
Figura 53: Probabilidad de excedencia de periodo energético en los sitios seleccionados.	49
Figura 54: Probabilidad de excedencia de dirección media en los sitios seleccionados.	49
Figura 55: Probabilidad de excedencia de potencia en los sitios seleccionados.	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Incidencia $H_{m0}-T_e$ de oleaje en aguas profundas, Isla de Pascua.....	11
Tabla 2: Incidencia $H_{m0}-T_e$ de oleaje en aguas profundas, Robinson Crusoe.	13
Tabla 3: Detalle de los dominios empleados para la simulación.	18
Tabla 4: Parámetros del oleaje considerados en el estudio.....	18
Tabla 5: Resumen de las características de la simulación.	19
Tabla 6: Ubicación de los sitios de interés en Isla de Pascua.....	25
Tabla 7: Ubicación de los sitios de interés en Isla Robinson Crusoe.	38
Tabla 8: Valores representativos de las características de cada sitio seleccionado.	48
Tabla 9 Propuesta de valoración de sitios según sus características	52

2 INTRODUCCIÓN

La necesidad de contar con electricidad en el territorio insular oceánico chileno -en particular en Isla de Pascua y en la isla Robinson Crusoe del Archipiélago de Juan Fernández- ha requerido la instalación de centrales con generación diésel. Ambas islas son zonas de interés patrimonial, ya que poseen atributos ambientales y culturales especiales que motivan realizar esfuerzos por generar procesos de conservación ambiental. Por un lado, Isla de Pascua (ver) alberga la cultura Rapanui y principalmente sus Moais, mientras que Robinson Crusoe es un territorio con un gran porcentaje de flora endémica, razones por las cuales ambas islas son parques nacionales.

Dada la exposición al oleaje oceánico de las islas, la energía undimotriz se presenta como una de las alternativas más atractivas de generación eléctrica limpia en el futuro. En este contexto, resulta fundamental la evaluación del potencial energético en la zona, con miras de proyectar la instalación de una planta generadora capaz de satisfacer las necesidades de los territorios señalados, disminuyendo de paso los efectos ambientales y la dependencia del suministro de combustible que produce el sistema de generación eléctrica actual.

A petición de FUNDACIÓN CHILE, el Grupo de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso presenta los estudios necesarios para evaluar la disponibilidad energética de oleaje en las zonas costeras de Isla de Pascua e Isla Robinson Crusoe, cuyo objetivo es caracterizar la variabilidad espacio-temporal del recurso, presentando un análisis temporal para los 3 sitios de mayor interés por cada isla. Este estudio se desarrolla en el marco del proyecto FIC-R **"Estrategia energética para el desarrollo de la energía marina en comunidades costeras de la región de Valparaíso"** código bip n° 30351028-0, destinado a potenciar la industria de las energías marinas en la V Región, financiado por el Gobierno Regional de Valparaíso. El estudio permitirá en etapas posteriores del proyecto (no contempladas en el presente contrato), estimar la potencia generada por dispositivos cuya selección dependerá del nivel de desarrollo, disponibilidad comercial y otros factores a definir.

Este proyecto fue desarrollado por Mauricio Molina, Académico e Ingeniero Civil Oceánico (ICO), y Rodrigo Campos, egresado ICO, con la asesoría de los académicos José Beyá MSc., Patricio Winckler PhD. y el ICO Ariel Gallardo.

Dos datos de la persona de contacto en relación al presente estudios son:

Mauricio Molina Pereira

Escuela de Ingeniería Civil Oceánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de Valparaíso
56 | 32 | 2995922
56 | 9 | 949 000 68
mauricio.molina@uv.cl
Av. Brasil 1786 | Of. 21 | Valparaíso
www.ingenieriaoceanica.cl

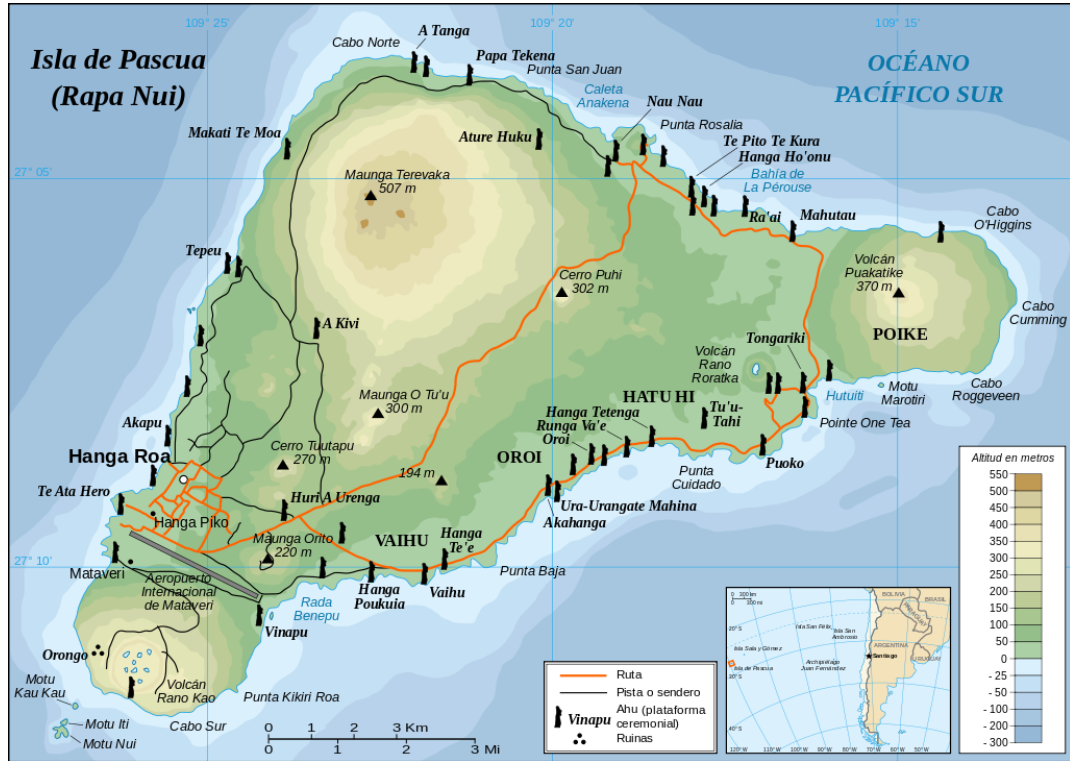


Figura 1 Imagen referencial Isla de Pascua

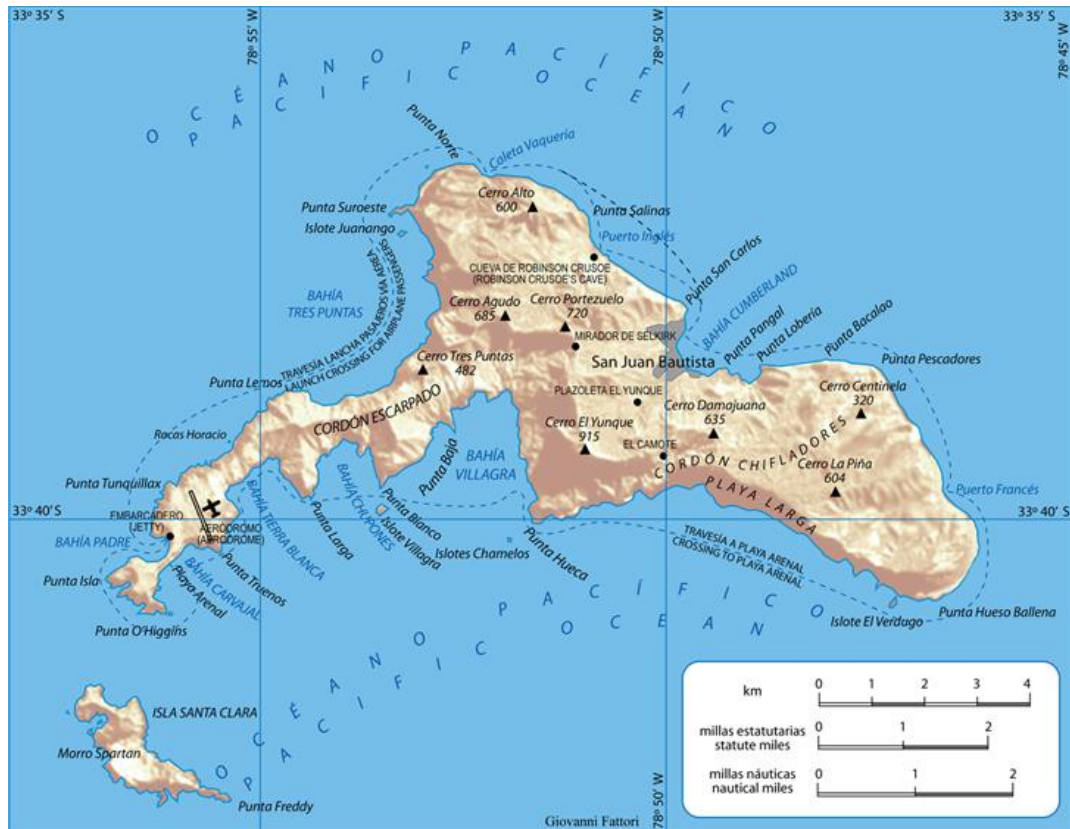


Figura 2 Imagen referencial Isla Robinson Crusoe

3 ESTADÍSTICA DE OLAJE DE AGUAS PROFUNDAS

Para el desarrollo de este proyecto se generó una estadística de 24 años de oleaje espectral de aguas profundas, comprendida entre el 1 de enero de 1990 y el 31 de diciembre de 2013, cada 3 horas (Anexo C). La estadística consta de espectros de energía de oleaje discretizados en 24 direcciones y 29 frecuencias que representan las condiciones de oleaje provenientes de todos los sentidos con periodos entre 2 y 29 [s].

La estadística se obtuvo en lugares cercanos a las islas en los cuales se contó con altimetría satelital (27°S, 110°O y 34°S, 79°O). Estos puntos fueron ubicados a distancias suficientes para asegurar que la presencia de las islas no afectara la estadística en aguas profundas por un efecto de sombra física (ver Figura 3 y Figura 4).

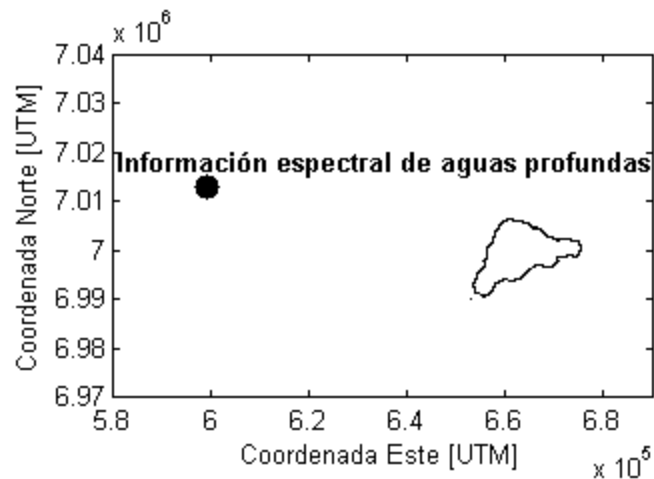


Figura 3: Ubicación de la información espectral de aguas profundas de Isla de Pascua.

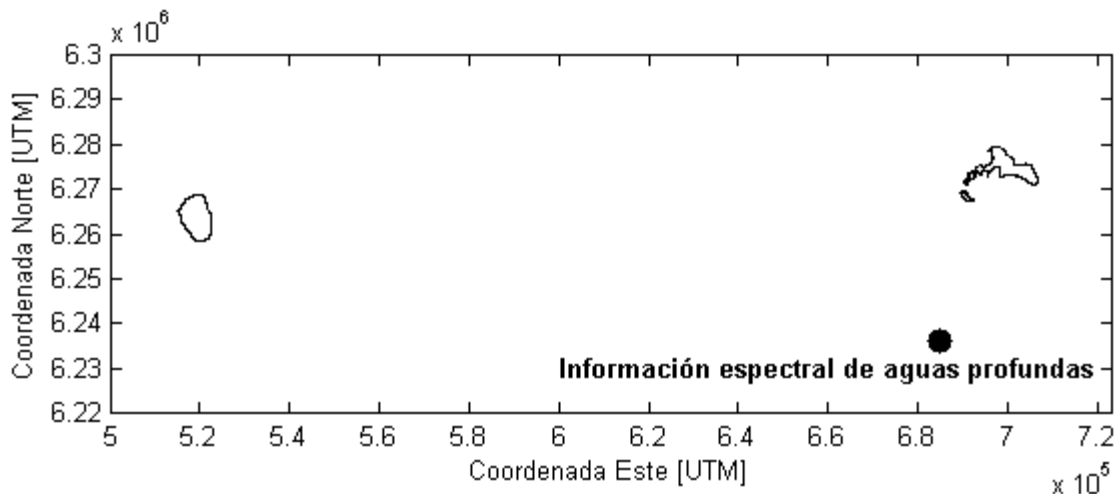


Figura 4: Ubicación de la información espectral de aguas profundas de Isla Robinson Crusoe, vista del Archipiélago de Juan Fernández.

3.1 Isla de Pascua

Las condiciones de oleaje que se presentan en la zona inciden predominantemente desde el sur, siendo la dirección SSO la que presenta mayor frecuencia, con un porcentaje de ocurrencia de 32.73%. Las direcciones S y SO presentan una incidencia importante en Isla de Pascua, con ocurrencias superiores al 20% en cada caso (Figura 1). Las alturas de ola tienen valores principalmente de $H_{m0} = 1$ a 4 [m], los que representan el 93% de los estados de mar en toda la estadística. Los periodos energéticos predominan entre $T_e = 8$ y 14 [s]¹, acumulando un porcentaje de ocurrencia cercano al 94% para dicho intervalo (Tabla 1). En el caso de los eventos extremos de oleaje, el 2% de la estadística supera los 5 [m], presentando un valor máximo de 9.07 [m]. En este sentido los periodos asociados a las mayores alturas se presentan con valores entre 12 y 16 [s].

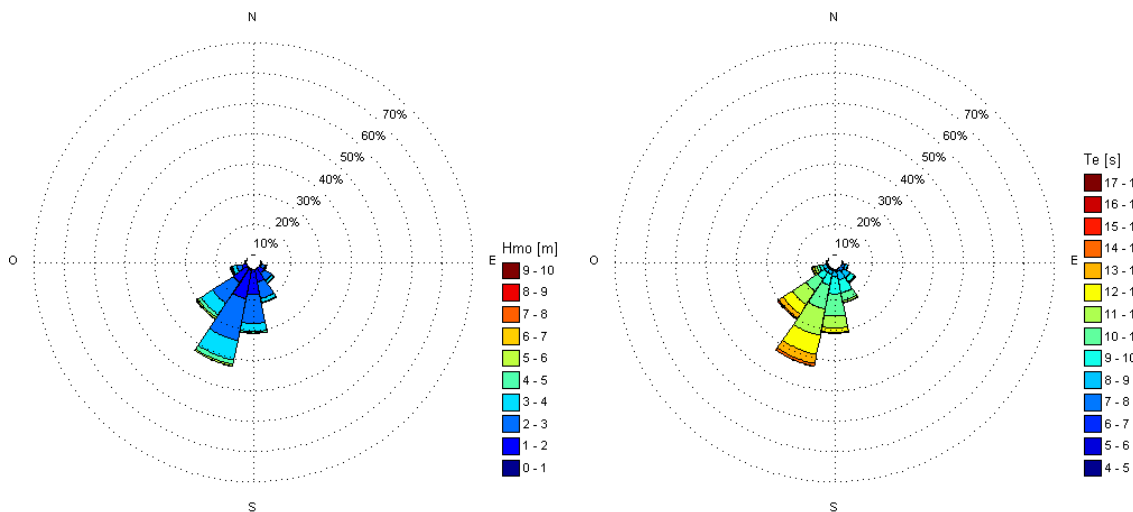


Figura 5: Rosa de oleaje en aguas profundas de altura significativa y periodo energético, Isla de Pascua.

Tabla 1: Incidencia H_{m0} - T_e de oleaje en aguas profundas, Isla de Pascua.

		Periodo energético [s]						% Rel	% Acum
		6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18		
Altura significativa [m]	0 a 1	0.03	0.43	0.39	0.02	--	--	0.87	0.87
	1 a 2	1.84	12.67	14.61	1.98	0.05	--	31.15	32.02
	2 a 3	2.46	13.19	19.67	8.03	0.31	--	43.66	75.68
	3 a 4	0.55	4.37	7.07	5.47	0.80	0.01	18.27	93.95
	4 a 5	0.06	0.99	1.37	1.37	0.25	0.01	4.05	98.00
	5 a 6	--	0.33	0.55	0.61	0.23	0.01	1.73	99.73
	6 a 7	--	0.04	0.09	0.07	0.03	0.00	0.23	99.96
	7 a 8	--	0.00	0.02	0.03	0.02	--	0.07	100.0
	8 a 9	--	--	--	0.00	0.00	--	0.00	100.0
	9 a 10	--	--	--	--	0.00	--	0.00	100.0
% Rel		4.94	32.02	43.77	17.58	1.69	0.03		
% Acum		4.94	36.96	80.73	98.31	100.0	100.0		

¹ En adelante, se entiende que las alturas corresponden a la altura significativa espectral y se omitirá el símbolo. Los periodos corresponden al periodo energético.

La Figura 6 presenta el espectro medio de energía en los 24 años en función de la dirección y el período, donde se observa que en la zona se presenta oleaje con 3 fuentes de generación distintas. La fuente de mayor energía tiene direcciones asociadas al tercer cuadrante (SO) y períodos típicos de 8 a 20 [s]. La segunda en importancia tiene períodos más acotados de 12 a 18 [s] y dirección de incidencia NO. La fuente más cercana y menos energética se asocia a oleaje proveniente desde el NE con períodos en torno a 5 y 9 [s].

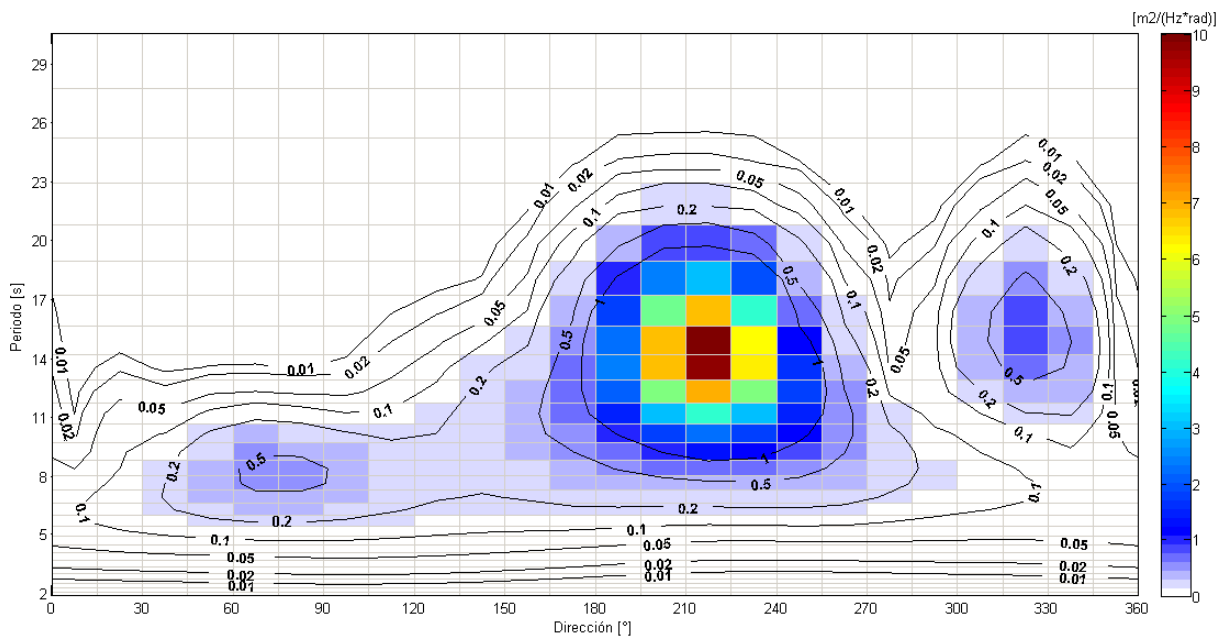


Figura 6: Espectro promedio de aguas profundas en Isla de Pascua. Las curvas y colores representan energía, la grilla representa la discretización del espectro.

3.2 Isla Robinson Crusoe

El oleaje presente en la zona posee dirección predominante del tercer cuadrante, siendo la dirección SO la más frecuente, con un 41.69% de ocurrencia. También destaca la incidencia de oleaje desde la dirección SSO, con 26.91% de los estados de mar (Figura 3). Las alturas presentan mayoritariamente valores de 1 a 4 [m], intervalo en el cual predominan las alturas de 2 a 3 [m] con ocurrencia cercana al 44%. Los periodos tienen valores de 8 a 12 [s], acumulando un porcentaje de ocurrencia cercano a 77% (Tabla 2). Los eventos extremos de oleaje presentan alturas sobre 5 [m] el 1.98% del tiempo, llegando el valor máximo a 9.85 [m]. Los periodos asociados a los eventos extremos tienen valores de 10 a 16 [s].

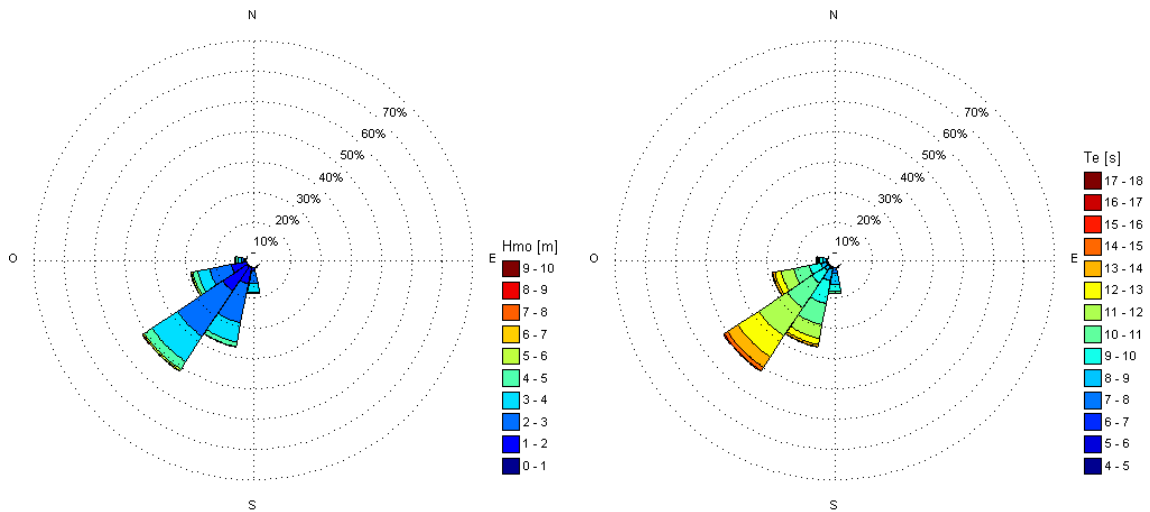


Figura 7: Rosa de oleaje en aguas profundas de altura significativa y periodo energético, Robinson Crusoe.

Tabla 2: Incidencia H_{m0} - T_e de oleaje en aguas profundas, Robinson Crusoe.

		Periodo energético [s]						% Rel	% Acum
		6 a 8	8 a 10	10 a 12	12 a 14	14 a 16	16 a 18		
Altura significativa [m]	0 a 1	0.02	0.11	0.04	--	--	--	0.17	0.17
	1 a 2	1.19	9.10	10.05	1.70	0.06	--	22.10	22.27
	2 a 3	1.83	14.94	20.17	6.37	0.47	--	43.78	66.05
	3 a 4	0.46	6.68	10.00	6.80	0.75	--	24.69	90.74
	4 a 5	0.00	1.42	2.75	2.54	0.56	0.01	7.28	98.02
	5 a 6	--	0.22	0.63	0.46	0.17	0.01	1.49	99.51
	6 a 7	--	0.02	0.18	0.14	0.04	--	0.38	99.89
	7 a 8	--	--	0.04	0.04	0.02	--	0.10	100.0
	8 a 9	--	--	0.01	0.01	0.00	--	0.02	100.0
	9 a 10	--	--	--	0.00	0.00	--	0.00	100.0
% Rel		3.50	32.49	43.87	18.06	2.07	0.02		
% Acum		3.50	35.99	79.86	97.92	100.0	100.0		

La Figura 8 presenta el espectro medio de energía, donde se observa que los estados de mar más energéticos provienen del tercer cuadrante (SO) con periodos que varían entre 6 y 20 [s]. Se observa también la presencia de componentes de oleaje que provienen desde el noroeste (NO) con periodos típicamente entre 12 y 18 [s], aunque esta condición es menos energética.

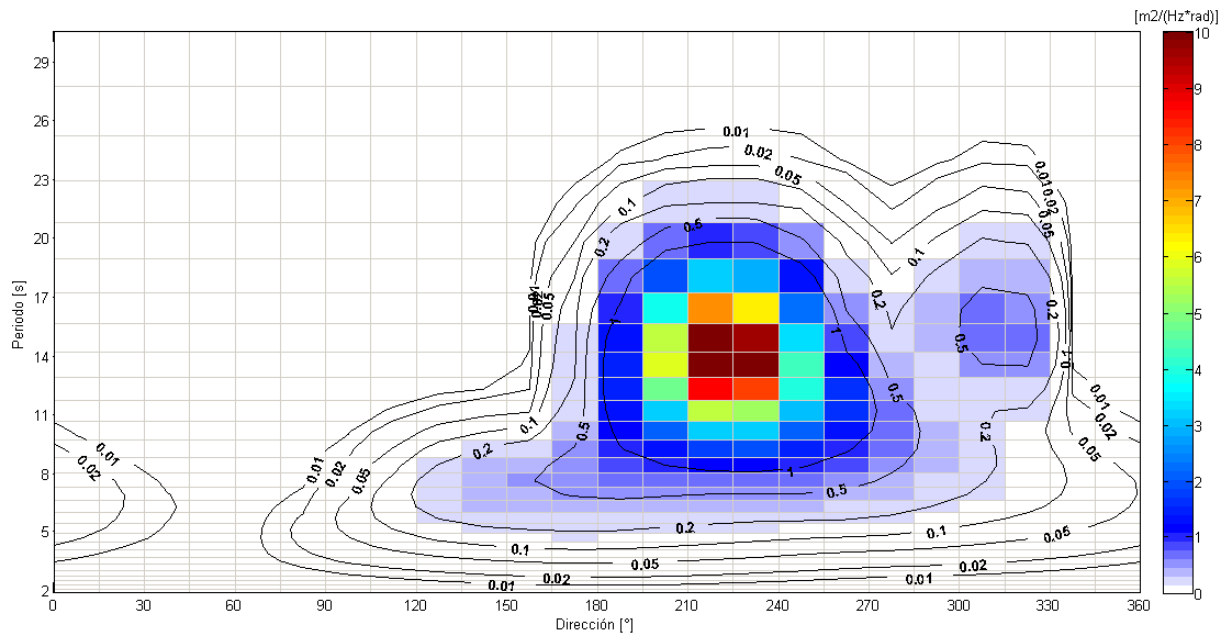


Figura 8: Espectro promedio de aguas profundas en Robinson Crusoe. Las curvas y colores representan energía, la grilla representa la discretización del espectro.

4 METODOLOGÍA

La evaluación del oleaje -en zonas que se encuentra influenciado por la profundidad y donde no hay disponibilidad de mediciones de gran extensión temporal- requiere del uso de información espectral en aguas profundas proveniente de modelos de reanálisis, la que luego es transferida al sitio de interés. Las metodologías que usualmente se emplean para dicho efecto consideran la realización de diversas simulaciones numéricas mediante el uso de software de propagación de oleaje, en los cuales se evalúan los distintos casos que permitan representar las condiciones observadas. Estas herramientas permiten reconstruir la información espectral en cualquier sitio de interés.

Considerando que este proyecto busca definir la ubicación del sitio y sus características de oleaje, se implementa una metodología capaz de propagar cada una de las componentes del espectro a todos los nodos del dominio para cada isla. La metodología se basa en la propagación de todas las componentes discretas del espectro (696 combinaciones) para cada estado de mar (70128 datos) en cada nodo del dominio. Esto implica un costo computacional elevado y adicional a lo considerado en la propuesta, pero asegura una evaluación detallada del oleaje y su potencia, tanto en la precisión de la estimación temporal como en la distribución espacial.

4.1 Configuración de la simulación numérica

Para el desarrollo del estudio, se emplea el software SWAN² (Booij et al., 1999; Ris et al., 1999) que utiliza las ecuaciones de balance de la acción de la energía para modelar la propagación del oleaje en aguas cercanas a la costa. La batimetría empleada ha sido suministrada por Fundación Chile, la cual consiste en las cartas náuticas SHOA N°2500, 2510, 2512 y 2513 (SHOA, 2009) en el caso de Isla de Pascua, y de la carta náutica SHOA N°5410, 5411, 5412, y 5413, mediciones de sondajes monohaz y multihaz, e información de la base de datos GEBCO³, en el caso de Isla Robinson Crusoe.

Para el desarrollo de este proyecto no se cuenta con información de oleaje medida in situ, por lo que no fue posible validar los resultados obtenidos, más allá de los procesos de validación de la información espectral de aguas profundas.

Respecto a las características de la simulación, se emplea un dominio espacial cuyos bordes se ubican en aguas profundas (por ende, la información espectral de aguas profundas es representativa en todos sus bordes). Se considera en el dominio solo las profundidades menores a 1000 [m], la que asegura la condición de aguas profundas para todos los periodos menores a 35 [s]. Esto es relevante considerando que la información espectral posee periodos de hasta 29 [s], por lo que la condición de profundidad considerada es conservadora.

Con el objeto de optimizar el proceso de cálculo, se trabaja bajo un esquema de mallas anidadas, las que presentan menor resolución en las zonas de menor variabilidad espacial y mayor resolución en las zonas en las que el oleaje presenta cambios significativos. Se utilizan mallas computacionales regulares anidadas de 300 [m] de resolución espacial en

² SWAN: Simulating WAVes Nearshore versión. Software de código abierto desarrollado por Delft University of Technology, cuyos detalles se encuentran disponibles en <http://www.swan.tudelft.nl/>

³ http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

profundidades mayores a 100 [m], de 100 [m] en profundidades entre 30 y 100 [m], y de 25 [m] en profundidades menores a 30 [m] en sitios de interés.

En el modelo de Isla Robinson Crusoe se considera un dominio espacial que incorpora la isla Alejandro Selkirk para las direcciones en las cuales ésta genera sombra en la propagación del oleaje (oleaje proveniente entre 255° y 275°). En la Figura 9, Figura 10 y Figura 11, se presentan los dominios con resolución espacial de 300 [m], junto con la información batimétrica de profundidades menores a 1000 [m]. Para las zonas con profundidades mayores, se fijó esta profundidad en un valor constante igual a 1000 [m].

La propagación de oleaje desde aguas profundas considera espectros que poseen energía unitaria solo en el bin⁴ asociado a la combinación de dirección y frecuencia que se desea analizar, lo que implica que la propagación de cada bin no está influenciada por otras componentes. Esta estructura permite que los espectros se computen a partir de la sumatoria de energía asociada a cada componente (Monsalve, 2010).

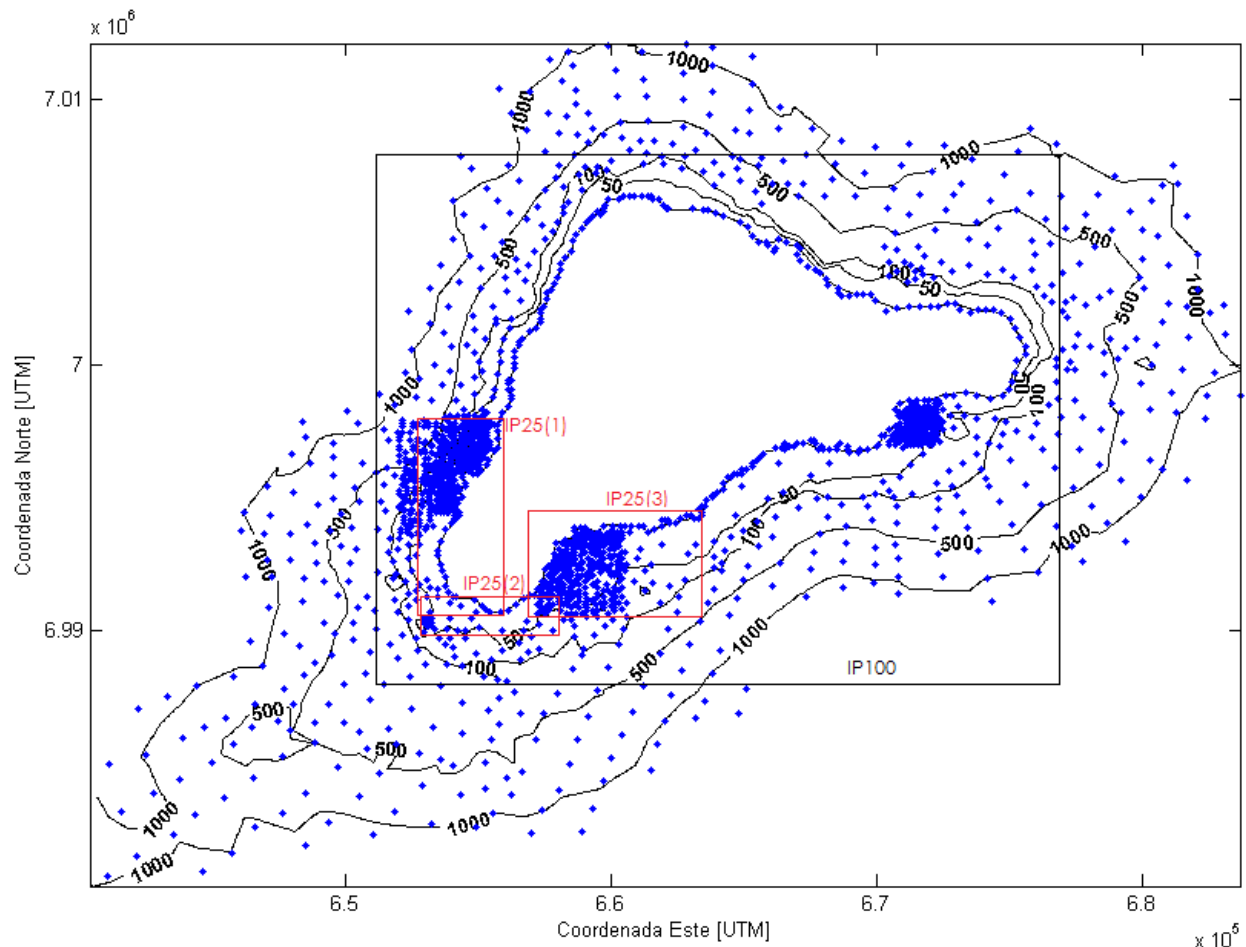


Figura 9: Dominio de resolución 300 [m] (IP300) utilizado para simulación con SWAN en Isla de Pascua. Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación. Se indican grillas de resolución 100 [m] y 25[m]

⁴ Discretización del espectro que representa la cantidad de energía asociada a una frecuencia y una dirección

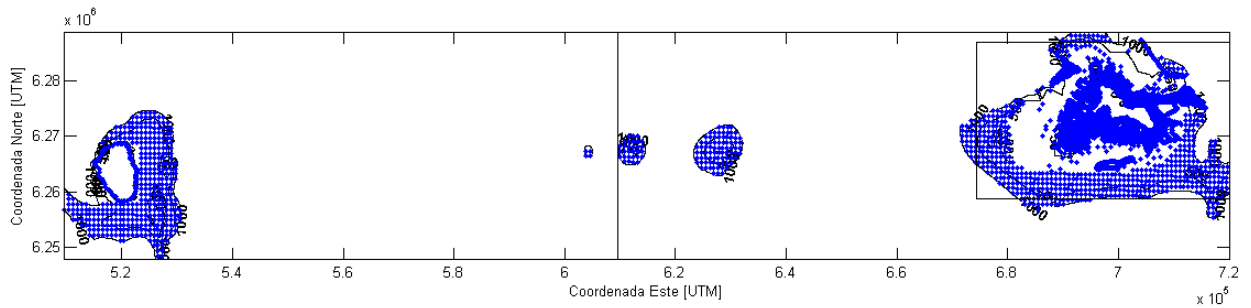


Figura 10: Dominio de resolución 300 [m] utilizado para simulación con SWAN en Isla Robinson Crusoe para las direcciones entre 255° y 275° (JF1 y JF2). Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación.

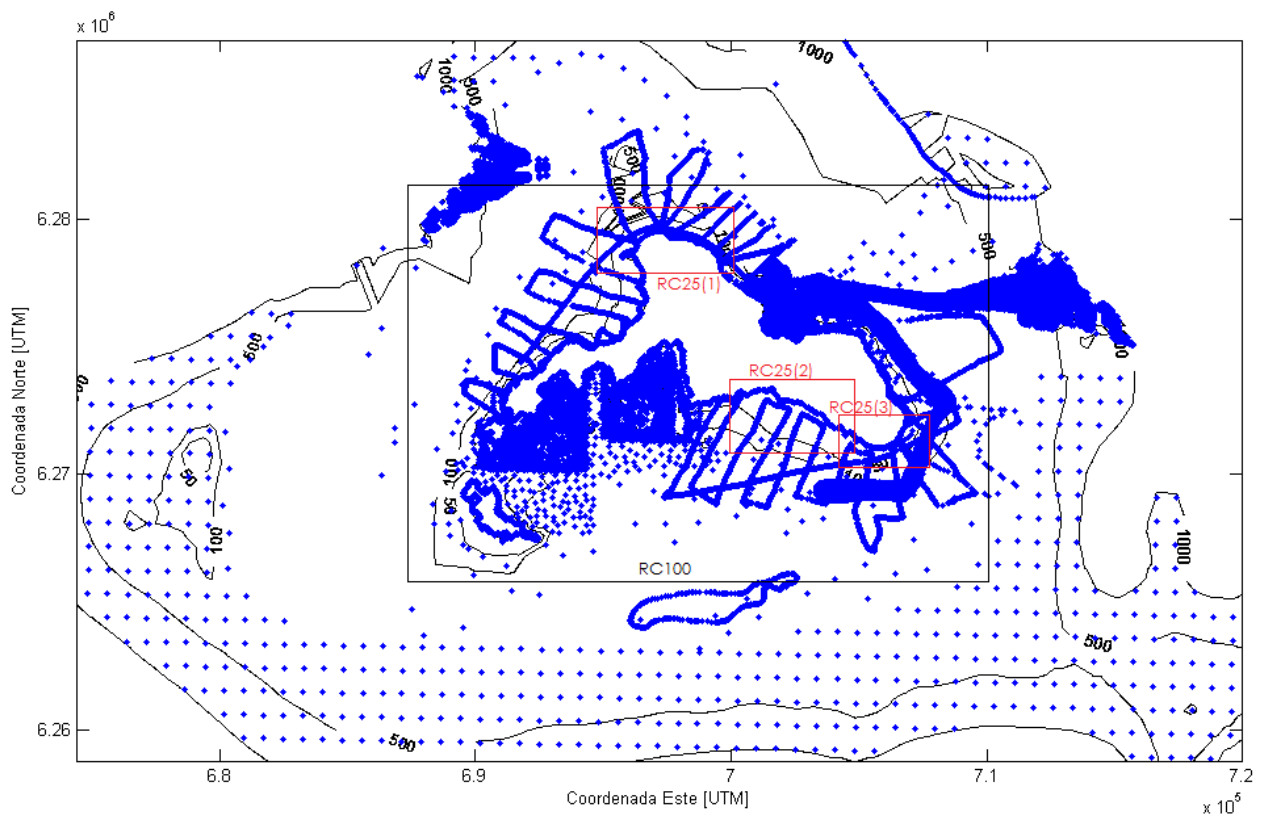


Figura 11: Dominio de resolución 300 [m] (RC300) utilizado para simulación con SWAN en Isla Robinson Crusoe. Batimetría en puntos azules, veriles generados por interpolación. Se indican grillas de resolución 100 [m] y 25[m]

La variabilidad del nivel del mar causada por la marea astronómica y meteorológica, no es incorporada dentro de la metodología, dado que la estimación del recurso energético de largo plazo se efectúa en una escala temporal superior a la de estos fenómenos.

Considerando que la metodología propuesta posee un alto costo computacional y que Fundación Chile ha solicitado la evaluación del recurso energético con alta resolución en profundidades menores a 30 [m], se realiza un análisis exploratorio mediante la propagación del espectro promedio de aguas profundas a todo el dominio con una resolución espacial de 100 [m], con el objetivo de definir las zonas en las cuales se obtendrá información detallada,

esto es, con resolución espacial de 25 [m]. Adicionalmente se consideran criterios sugeridos por el Fundación Chile, relacionados con la proximidad a los centros de consumo y la accesibilidad.

La Figura 9 y la Figura 11 presentan además los dominios de mediana (100 [m] x 100 [m]) y alta resolución espacial (25 [m] x 25 [m]), junto con la información batimétrica disponible. El detalle de los dominios empleados se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3: Detalle de los dominios empleados para la simulación.

Dominio	Resolución [m]	Zona UTM	Coord. N [UTM]	Coord. S [UTM]	Coord. E [UTM]	Coord. O [UTM]	Distancia N-S [m]	Distancia E-O [m]
IP300	300x300	12 J	7 012 220	6 979 820	683 880	640 380	32 400	43 500
IP100	100x100	12 J	7 007 920	6 987 820	676 780	651 180	20 100	25 600
IP25(1)	25x25	12 J	6 997 970	6 990 570	655 930	652 605	7 400	3 325
IP25(2)	25x25	12 J	6 991 245	6 989 820	658 005	652 755	1 425	5 250
IP25(3)	25x25	12 J	6 994 420	6 990 495	663 355	656 930	3 925	6 425
JF1	300x300	17 H	6 288 800	6 238 100	609 600	509 700	50 700	99 900
JF2	300x300	17 H	6 288 800	6 238 100	720 000	609 600	50 700	110 400
RC300	300x300	17 H	6 287 000	6 258 800	720 000	674 400	28 200	45 600
RC100	100x100	17 H	6 281 400	6 265 800	710 100	687 300	15 600	22 800
RC25(1)	25x25	17 H	6 280 400	6 277 900	700 200	694 800	2 500	5 400
RC25(2)	25x25	17 H	6 273 800	6 270 800	704 800	699 900	3 000	4 900
RC25(3)	25x25	17 H	6 272 300	6 270 300	707 700	704 300	2 000	3 400

La evaluación de la potencia del oleaje se realiza estimando los parámetros de altura significativa, periodo energético y dirección media (Tabla 4). Estos parámetros de origen espectral son obtenidos a partir del espectro de energía asociado a cada combinación de dirección (θ) y frecuencia (f) mediante el uso del momento de orden n , definido como:

$$m_n = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} f^n S(f, \theta) df d\theta$$

Tabla 4: Parámetros del oleaje considerados en el estudio.

Parámetro	Sigla	Fórmula
Altura significativa espectral	H_{m0}	$4\sqrt{m_0}$
Periodo energético	T_e	m_{-1}/m_0
Dirección media	Dir_m	$\tan^{-1} \left(\frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \sin\theta S(f, \theta) df d\theta}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \cos\theta S(f, \theta) df d\theta} \right)$
Potencia de oleaje	P	$\frac{\rho g^2}{64\pi} H_{m0}^2 T_e$

Se presentan en la
Tabla 5 un resumen de las características empleadas para la simulación.

Tabla 5: Resumen de las características de la simulación.

Ítem	Isla de Pascua	Robinson Crusoe
Batimetría	Cartas SHOA N°2500, 2510, 2512 y 2513	Cartas SHOA N°5410, 5411, 5412, y 5413, mediciones de sondajes monohaz y multihaz y base de datos GEBCO
Nivel de referencia	Profundidades referidas al Nivel de Reducción de Sondas NRS	
Nivel de medio del mar	0.45 [m] sobre NRS	0.76 [m] sobre NRS
Oleaje	24 años de espectros cada 3 horas en aguas profundas en cada isla, desde 1 de enero de 1990 a 31 de diciembre de 2013	
	27°S 110°O	34°S 79°O
Resolución de malla de cálculo	Se utilizan 3 mallas anidadas con resolución de 300 [m], 100 [m] y 25 [m] (detalle). El dominio de la malla de detalle abarca al menos hasta profundidades de 30 [m].	
Dominio espacial	Los bordes del dominio tienen profundidades mayores a 1000 [m] para asegurar la condición de aguas profundas.	
		Dominio extra que considera Isla Alejandro Selkirk para direcciones entre 255° y 275°
Tipo de propagación	Espectral a cada nodo de cada malla, empleando metodología de propagación por bin de energía del espectro de aguas profundas y obtención de parámetros espectrales en cada nodo. Metodología asume que las transferencias no lineales entre componentes son despreciables.	
Calibración	No se considera, ya que no se dispone de mediciones de oleaje.	

4.2 Calidad de la información batimétrica

Los resultados obtenidos por medio de las simulaciones numéricas son dependientes de la calidad de la información batimétrica disponible; esto es precisión y densidad de las mediciones. A continuación se realiza un análisis de la información con la que se cuenta para la realización del estudio.

En Isla de Pascua (Figura 9) se realiza una evaluación de alta resolución espacial en el extremo suroeste de la isla, donde se encuentra información batimétrica de las cartas náuticas SHOA N°2500, 2510, 2512 y 2513. El detalle de la información para los diferentes dominios se detalla a continuación:

- El dominio IP25(1) abarca desde la zona costera del poblado de Hanga Roa hasta las cercanías del Motu Nui junto al Rano Kau. Dicho dominio cuenta con información detallada solo en su mitad norte (carta N°2512), mientras que la mitad sur solo cuenta con sondeos con profundidad a 50 [m], salvo algunos puntos que llegan a los 14 [m] (carta N°2510).
- El dominio IP25(2) abarca la zona sur del volcán Rano Kau y los islotes Motu Nui, Motu Iti y Motu KaoKao, siendo toda la extensión de costa acantilada. La zona no posee carta batimétrica de detalle, por lo que se utiliza la carta N°2510. Allí la disponibilidad de sondeos es en general hasta los alrededores de los 50 [m] de profundidad, existiendo un detalle un poco mayor en los pasos Policarpo Toro y Balmaceda, pero insuficiente para un análisis detallado.
- El dominio IP25(3) abarca la costa de Hanga Vinapu hasta Punta Baja por el este, conteniendo en la mitad oeste la información batimétrica de detalle de la carta N°2513. En la mitad este solo se presenta información de algunas sondas hasta los 20 [m].

En el caso de isla Robinson Crusoe (Figura 11), se dispone de las cartas náuticas SHOA N°5410, 5411, 5412, y 5413, mediciones de sondeos monohaz y multihaz (esta última no se presenta en las zonas de interés). Los sondeos monohaz se desarrollan desde profundidades cercanas a 200 [m] hasta los 10 [m]. El detalle de la información para los diferentes dominios se detalla a continuación:

- El dominio RC25(1) abarca el extremo norte de la isla, cubriendo la costa acantilada de Cerro Alto hasta el sector de Puerto Inglés por el este. En dicha zona se cuenta con 10 transectos de sondeo monohaz que van desde profundidades mayores hasta 10 [m] y un transecto de corroboración que se desarrolla entre los 10 [m] y 20 [m].
- El dominio RC25(2) se extiende al sureste de la isla, en el sector comprendido entre Playa Larga y Punta Brava por el este. En dicha zona se presentan 6 transectos de sondeo monohaz.
- El dominio RC25(3) se extiende a lo largo del extremo sureste de la isla, abarcando costas acantiladas desde Punta Brava hasta Punta Hueso Ballena, en las cercanías de puerto Francés. En dicha zona se presentan 6 transectos con algunos puntos de la carta N°5410 que se extienden en profundidades mayores a 20 [m].

La confiabilidad de los resultados depende de la densidad de puntos batimétricos en el entorno del sitio en evaluación. La distancia entre el sitio y el sector con información batimétrica debe ser la mínima posible de modo de minimizar posibles errores de interpolación. La densidad de puntos alrededor del sitio seleccionado condiciona la adecuada representación de los procesos asociados a la propagación del oleaje -en particular de la refracción- dado que ésta es muy sensible a estructuras batimétricas con veriles curvos, como en las puntas. En síntesis, la definición de los sitios se realiza considerando la magnitud de la potencia, cuyos resultados se analiza en función de la calidad de la batimetría de cada sitio en particular.

4.3 Metodología de estimación de la potencia

Se presenta a continuación una estructura secuencial de la metodología empleada, cuyo detalle por etapas se presenta en el Anexo B.

- Análisis de la frecuencia y valor medio de la energía en cada combinación del espectro, para los 70128 estados de mar que componen la serie (696 combinaciones).
- Definición de combinaciones de periodo y dirección a simular con SWAN (80 en Isla de Pascua y 88 en Isla Robinson Crusoe), considerando espectros que tienen energía unitaria solo en la combinación seleccionada (bin unitario).
- Propagación de los casos seleccionados (168 entre las dos islas en dominios con discretización espacial de 300, 100 y 25 [m]). Obtención de mapas de altura y dirección.
- Interpolación lineal de los mapas de propagación para combinaciones no propagadas (616 en Isla de Pascua y 608 en Isla Robinson Crusoe).
- Obtención de los mapas de coeficientes de agitación para cada combinación del espectro.
- Obtención de mapas de momentos de orden 0 y -1 (m_0 y m_{-1}) y dirección media (Dir_m) para dominios de 300, 100 y 25 [m] considerando la suma de cada bin de energía del espectro (696) ponderada por el coeficiente de agitación correspondiente para cada nodo del mapa y cada estado de mar (70128).
- Obtención de mapas de altura significativa (H_{m0}), periodo energético (T_e), dirección media (Dir_m) y potencia (P) para cada estado de mar.
- Obtención de los mapas de percentil (101 casos) para cada parámetro.
- Obtención de los mapas de valor medio para cada parámetro.
- Obtención de los mapas de potencia superada el 80% del tiempo.
- Obtención del mapa de porcentaje de tiempo en que la altura de la ola significativa supera 1 [m].
- Obtención del mapa altura significativa que es superada el 5% del tiempo.
- Propuesta de 5 sitios de interés por cada isla a Fundación Chile
- Análisis de los 3 sitios seleccionados por Fundación Chile

Se presentan a continuación los análisis por isla y sitio de interés, encontrándose en el Anexo A los mapas, tablas y gráficos complementarios para el análisis de cada caso.

5 RESULTADOS EN ISLA DE PASCUA

5.1 Distribución espacial de potencia de oleaje

La Figura 12 presenta la condición media de la altura significativa y dirección de oleaje, donde se observa que las mayores alturas ocurren en la costa suroeste, en el entorno del volcán Rano Kau, entre Hango Roa por el oeste y Hanga Vinapu por el sur. Se presentan también concentraciones en torno a Hanga Hotuiti hacia el este de la isla (ver Figura 1). Estas concentraciones son consistentes con la dirección suroeste, reinante en la zona. Por otro lado, las grandes profundidades que se alcanzan a pocos kilómetros de la costa y la proyección hacia el suroeste de la costa sur y la costa oeste, permiten explicar que el oleaje se encuentra altamente afectado por refracción, siendo este fenómeno más notorio en la costa oeste. La costa norte se encuentra protegida de la condición reinante, por lo que la difracción induce una disminución mayor de la altura del oleaje, con alturas en general menores a 0.5 [m]. Si bien, en la zona se presenta oleaje noreste, el mapa de valor medio indica que por lo general posee alturas inferiores a 1.5 [m].

La Figura 13 se presenta el mapa de altura de ola excedido 5% del tiempo. En ella se observa que las alturas en esta proporción alcanzan valores en general en torno a los 4 [m]. La Figura 14, indica que el porcentaje de tiempo en el que la altura supera 1 [m] está sobre el 70% del tiempo en la costa sur.

La potencia presenta mayor magnitud en la costa sur y concentraciones en torno al volcán Rano Kau y al sector de Hanga Vinapu, tal como se observa en la Figura 15. En la Figura 16 se presenta la potencia que es superada el 20% del tiempo, la cual es en general superior a 10 [kW/m] en la costa sur.

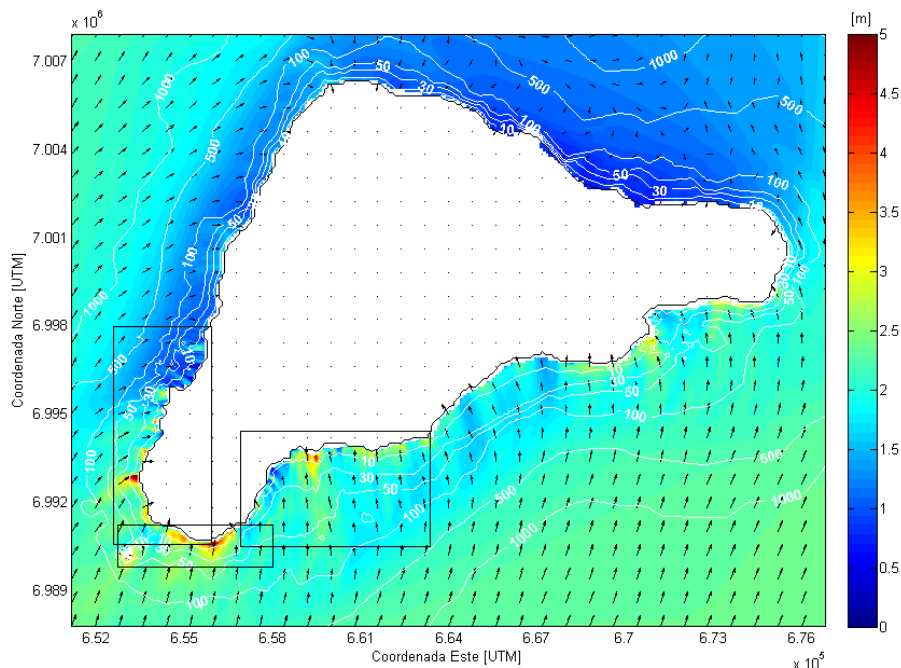


Figura 12: Altura significativa y dirección promedio en Isla de Pascua.

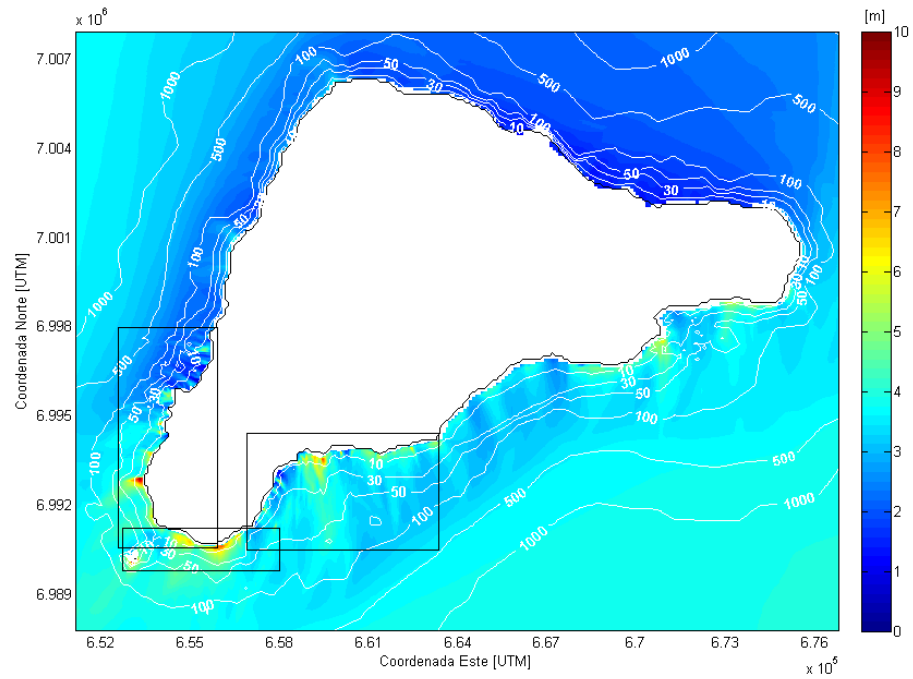


Figura 13: Altura significativa que es superada el 5% del tiempo en Isla de Pascua.

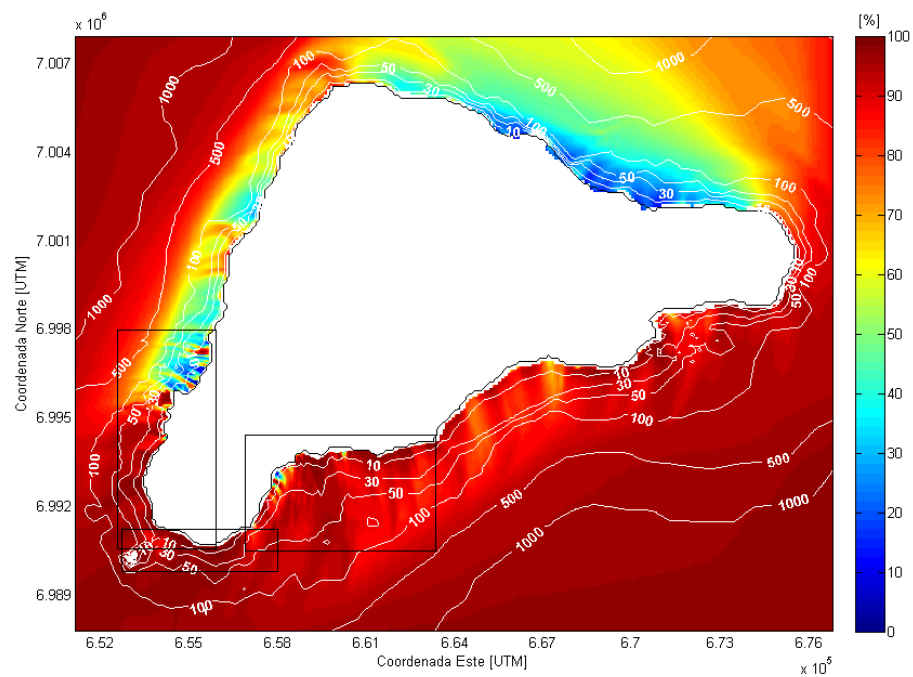


Figura 14: Porcentaje de tiempo en que la altura significativa supera 1 [m] en Isla de Pascua.

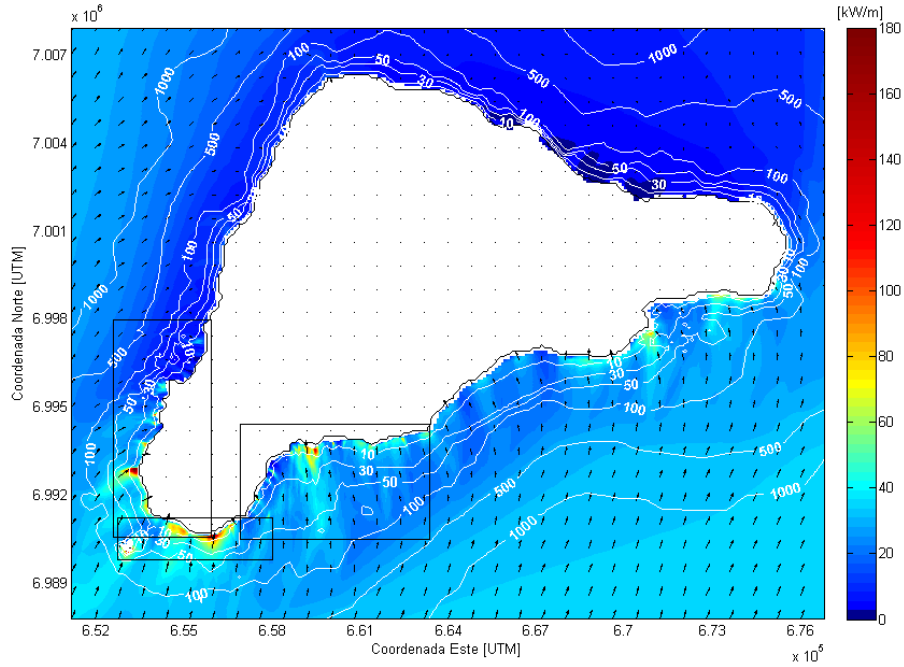


Figura 15: Potencia y dirección media en Isla de Pascua.

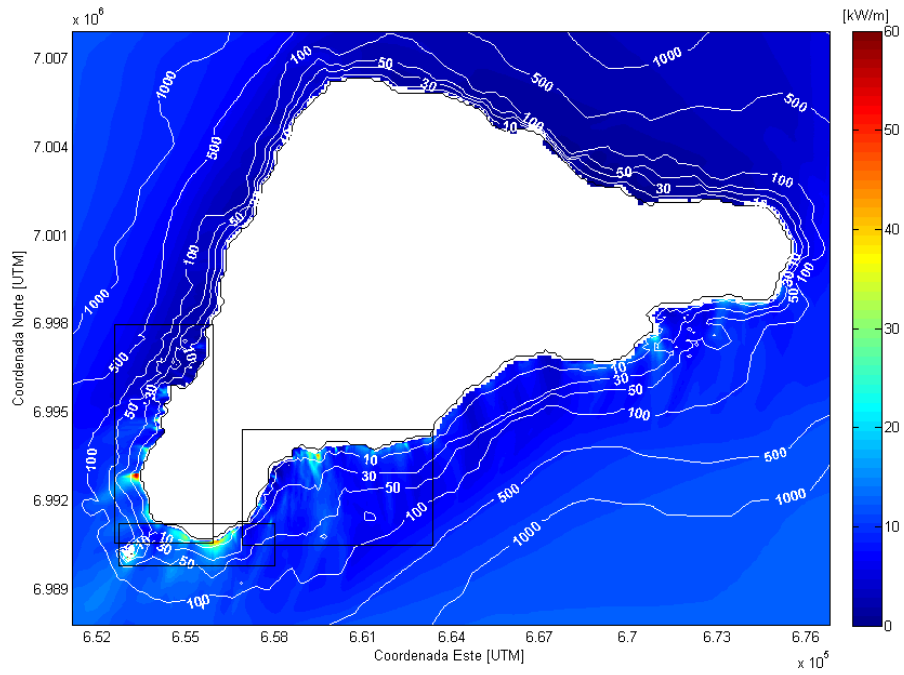


Figura 16: Potencia que es superada el 80% del tiempo en Isla de Pascua.

5.2 Definición de sitios de interés

La Figura 17 presenta una vista de los mapas de potencia en alta resolución de las zonas seleccionadas, junto con la propuesta de los 5 sitios en los que se efectúa un análisis más acabado. En la Figura 17 se presentan los mapas detallados para cada zona. Los sitios escogidos corresponden a las zonas en las que se presentan mayores concentraciones de energía. De los sitios propuestos, el 1 y 5 poseen mejor información batimétrica, por lo que se estima que los resultados allí tienen una mayor confiabilidad. En los sitios 2, 3 y 4, la baja densidad de puntos disminuye la confiabilidad de los resultados al ser dependientes del proceso de interpolación empleado (Figura 18).

Desde el punto de vista de la accesibilidad, los sitios 2, 3 y 4 se encuentran en zonas con costas acantiladas, dificultando la proyección de obras de apoyo en el proceso de generación de energía. Por el contrario, el sitio 5 posee mejores condiciones ya que se encuentra cercano a una zona industrial y a la conexión de la red eléctrica de la isla.

Durante el desarrollo de éste estudio, se presentó a Fundación Chile los valores medios de los parámetros de altura significativa, periodo energético, dirección media y potencia en las profundidades 25, 30 y 50 [m] para estos sitios. Fundación Chile solicitó descartar los sitios 1 y 3, y analizar en forma detallada en los sitios 2, 4 y 5 en la profundidad de 30 [m]. En lo sucesivo, estos sitios serán denominados IP2, IP4 e IP5 respectivamente, cuya ubicación y profundidad se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6: Ubicación de los sitios de interés en Isla de Pascua.

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
2	IP2	652620	6992860	30
4	IP4	655940	6990050	30
5	IP5	659500	6992430	30

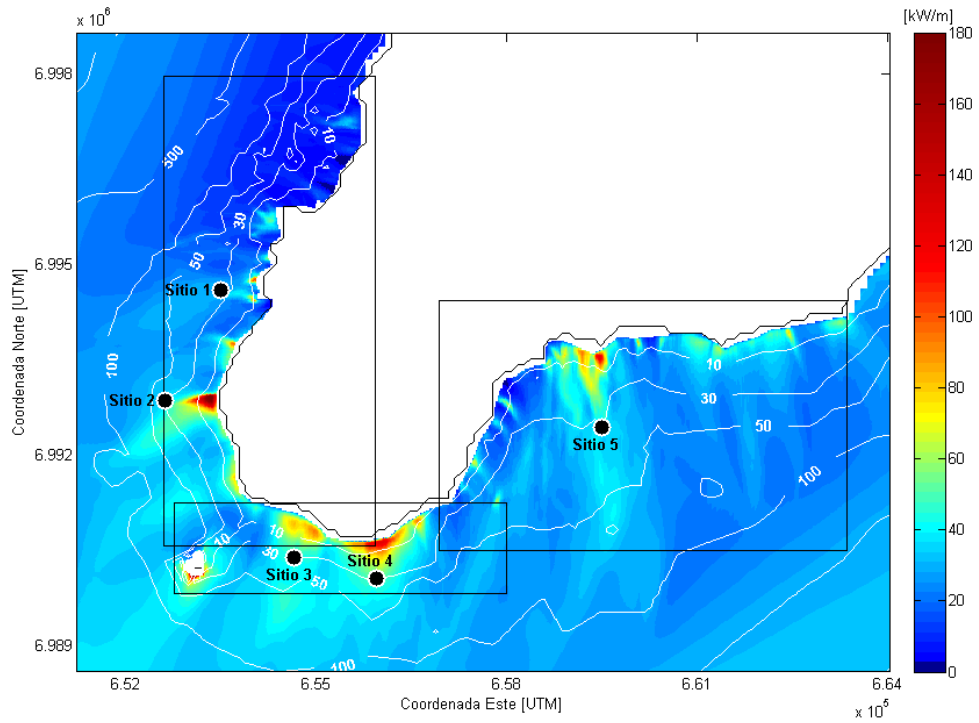


Figura 17: Sitios de interés en Isla de Pascua.

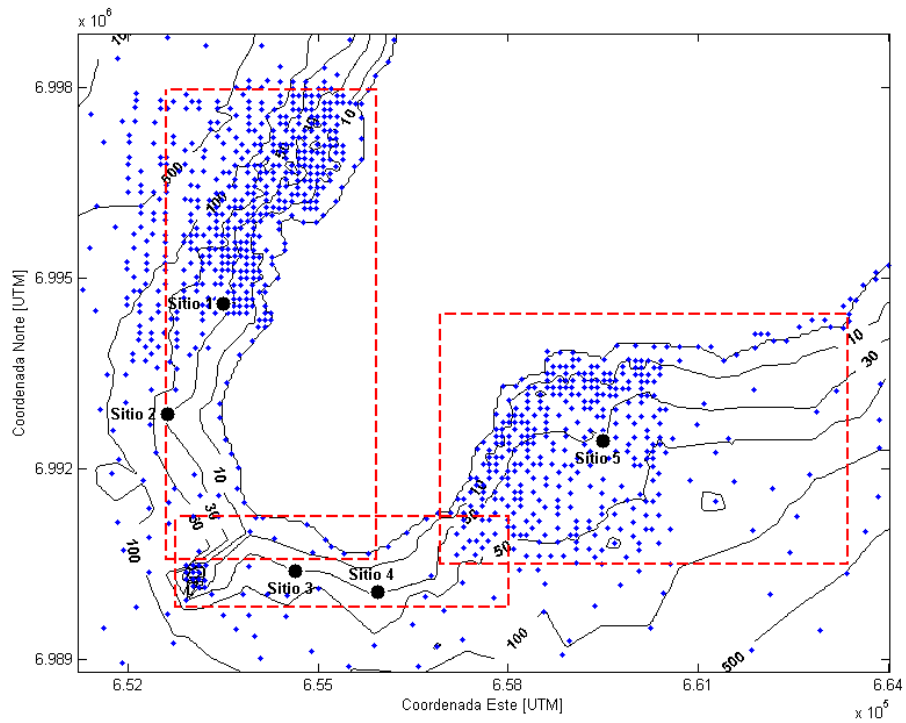


Figura 18: Batimetría en sitios de interés en Isla de Pascua.

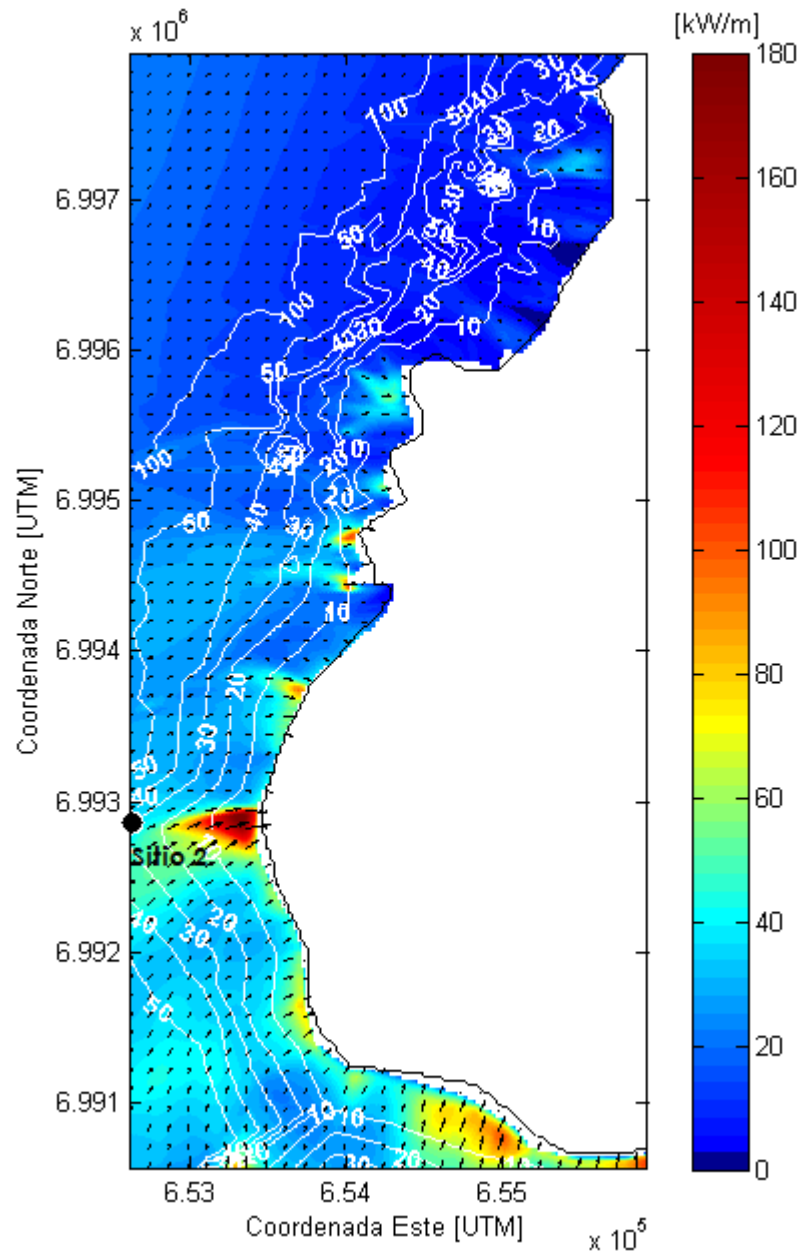


Figura 19: Mapa de alta resolución de potencia en el dominio IP25(1) en Isla de Pascua.

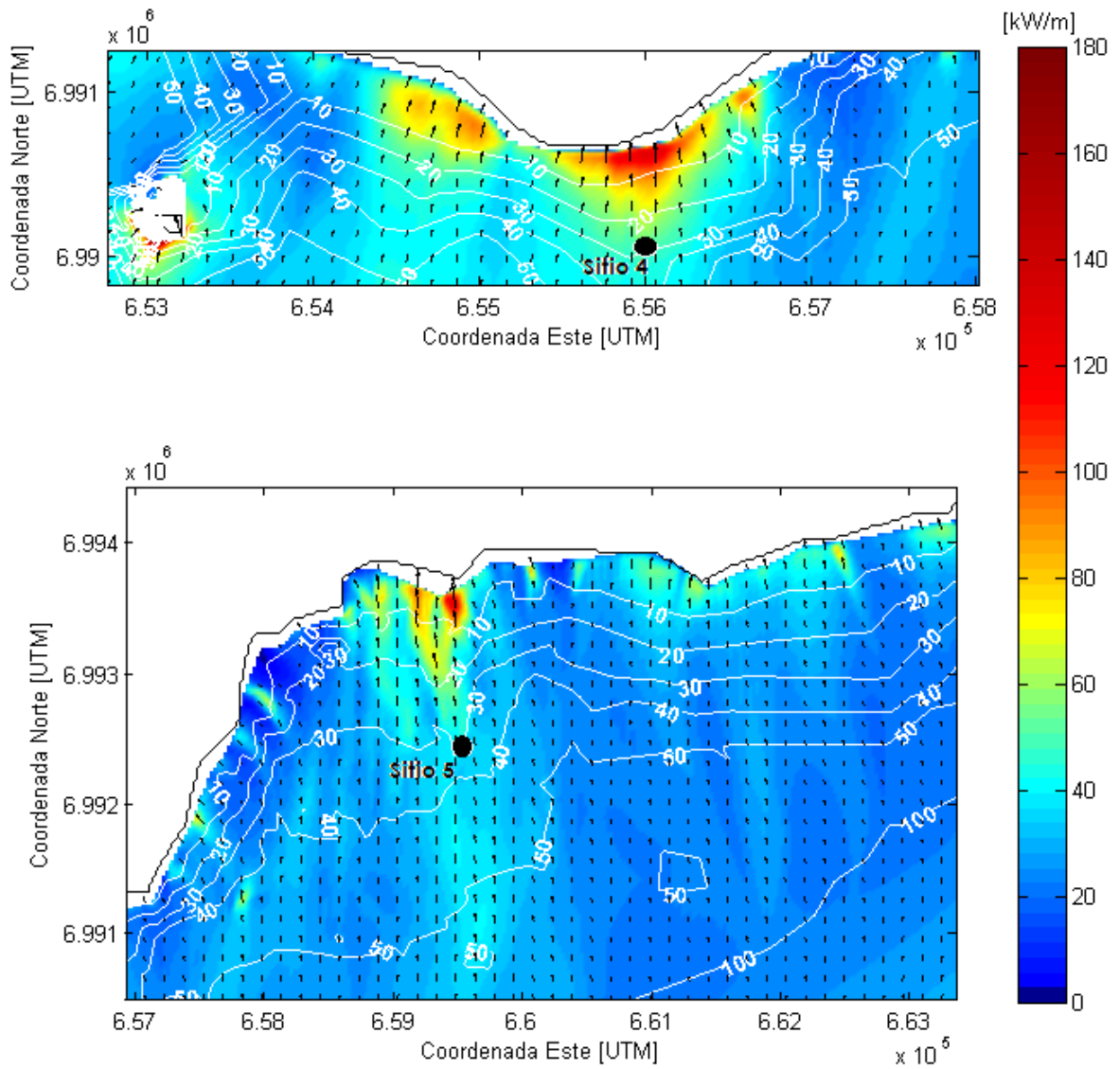


Figura 20: Mapa de alta resolución de potencia en Isla de Pascua. Arriba el dominio IP25(2), abajo el dominio IP25(3).

5.3 Sitio 2 (IP2)

La altura media en el sitio es de 2.33 [m], con valores de entre 1 y 4 [m] el 90% del tiempo, siendo el tramo de 1 a 2 [m] el más frecuente. Las alturas presentan valores sobre 5 [m] el 2.26% del tiempo, llegando un máximo de 9.44 [m]. Los periodos energéticos presentan valores principalmente entre 10 y 14 [s] (81%), con una media de 11.6 [s] en toda la estadística (ver Figura 21). El valor medio de la dirección es de 237°, presentando el 63% del tiempo valores entre 210 y 240°. Se presentan también oleajes provenientes del cuarto cuadrante, los cuales representan el 5.7% (Figura 22, información complementaria en el Anexo A).

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 1.0 a 4.5 [m] y periodos de 10 a 14 [s]; intervalos que representan el 67% de la energía total en el sitio. En el caso de la dirección de incidencia, las mayores frecuencias se presentan en torno a los 225°, donde el 71.6% de la energía proviene entre las direcciones 210° a 240°. Se observa que la distribución de energía no es simétrica en cuanto a su incidencia, generándose un rango amplio de direcciones hacia el norte pero acotada hacia el sur.

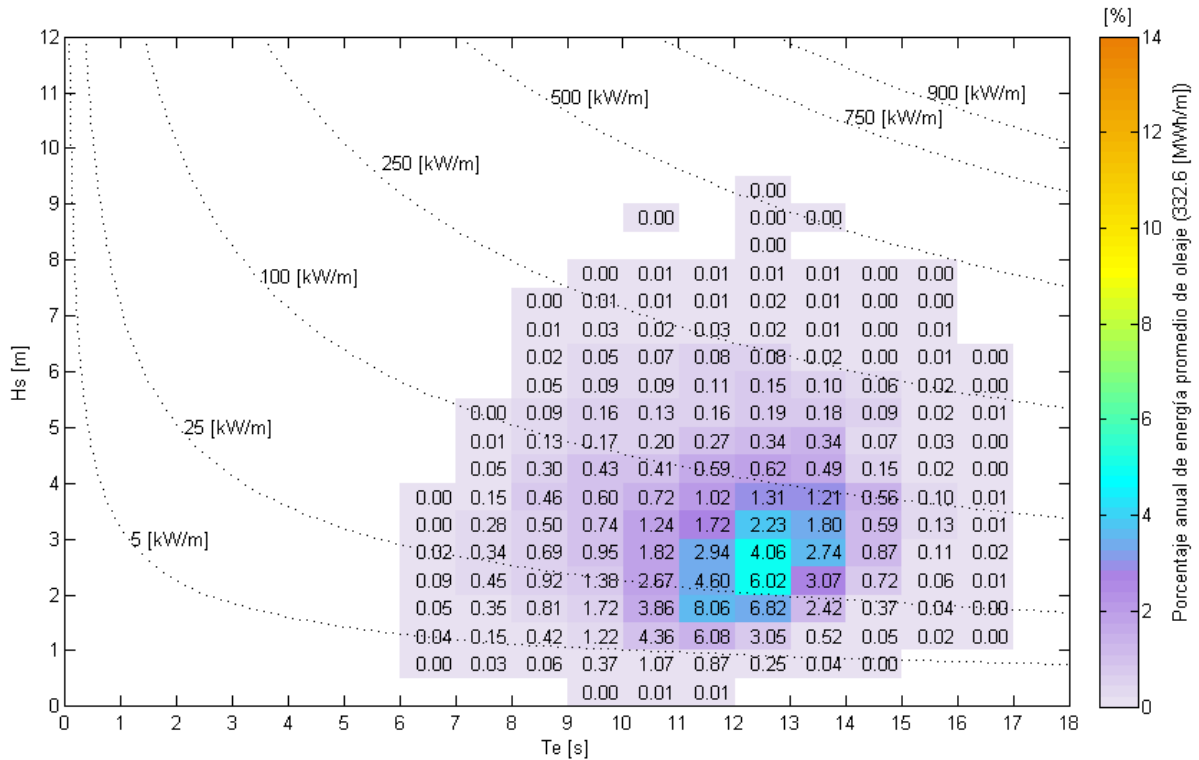


Figura 21: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 2 de Isla de Pascua.

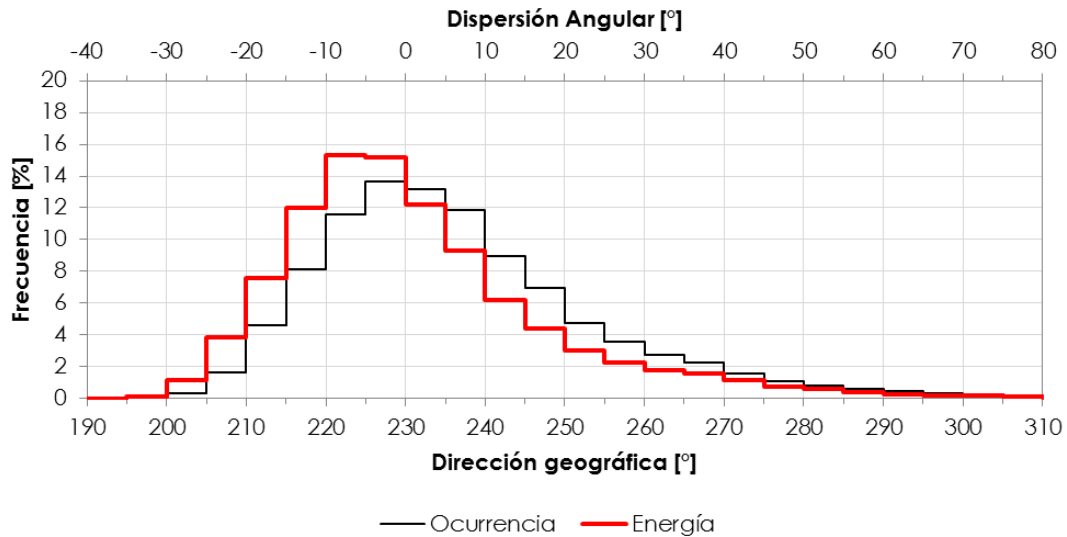


Figura 22: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 2 de Isla de Pascua.

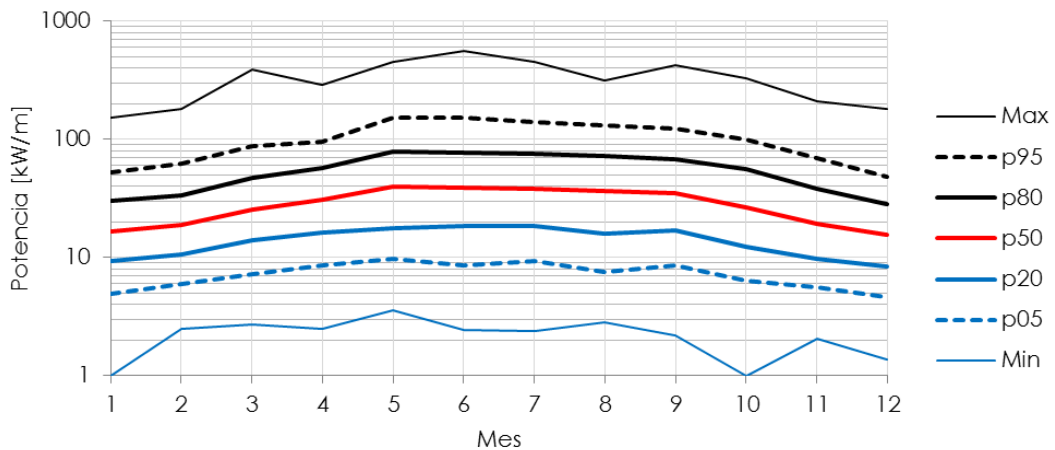


Figura 23: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 2 de Isla de Pascua.

El oleaje se presenta variable a lo largo del año, siendo más energético en invierno. La altura supera los 2 [m] la mitad del tiempo entre marzo y octubre, mientras que el valor de 5 [m] es excedido más del 5% del tiempo entre mayo y julio. Los periodos energéticos tienden a disminuir en invierno, sin embargo, la mediana de los datos oscila solo entre 11 y 12 [m]. La dirección de incidencia presenta una variabilidad de la mediana menor a 20°, con dirección asociada al suroeste, aunque la dispersión direccional es mayor hacia el oeste que hacia el sur. En general solo el 5% del tiempo se presentan valores mayores a 270°, aunque este porcentaje aumenta levemente entre junio y diciembre (Anexo A).

La potencia (Figura 23) presenta un aumento en invierno, llegando a duplicar el valor de la mediana entre mayo y septiembre (40 [kW/m]) respecto de noviembre y febrero (20 [kW/m]). El valor de la potencia que es superada el 80% del tiempo es de 9 [kW/m], siendo diciembre el mes de menor disponibilidad del recurso.

5.4 Sitio 4 (IP4)

La altura media en el sitio es de 2.75 [m], con valores de entre 1 y 4 [m] el 84% del tiempo, siendo el tramo de 2 a 3 [m] el más frecuente. Las alturas presentan valores sobre 5 [m] el 5% del tiempo, llegando a un máximo de 11.26 [m]. Los periodos energéticos presentan valores entre 10 y 14 [s] un 83% del tiempo, con una media de 11.3 [s] (Figura 24). En cuanto a la direccionalidad del oleaje, el valor medio de la serie es de 187°, presentando el 82% del tiempo valores entre 150 y 210°. Los oleaje provenientes del cuarto cuadrante representan menos del 1%, mientras que direcciones entre 90 y 150° corresponden al 9% del oleaje de incidente para este sitio (Figura 25, información complementaria en Anexo A).

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 2.5 a 5.0 [m] y periodos de 10 a 14 [s]; intervalos que representan el 65% de la energía total en el sitio. En el caso de la dirección de incidencia, las mayores frecuencias se presentan en torno a los 185°, donde el 74% de la energía proviene de las direcciones 170° a 205°. Dada la exposición del sitio a la dirección reinante, la distribución de energía es relativamente simétrica respecto a la dirección principal.

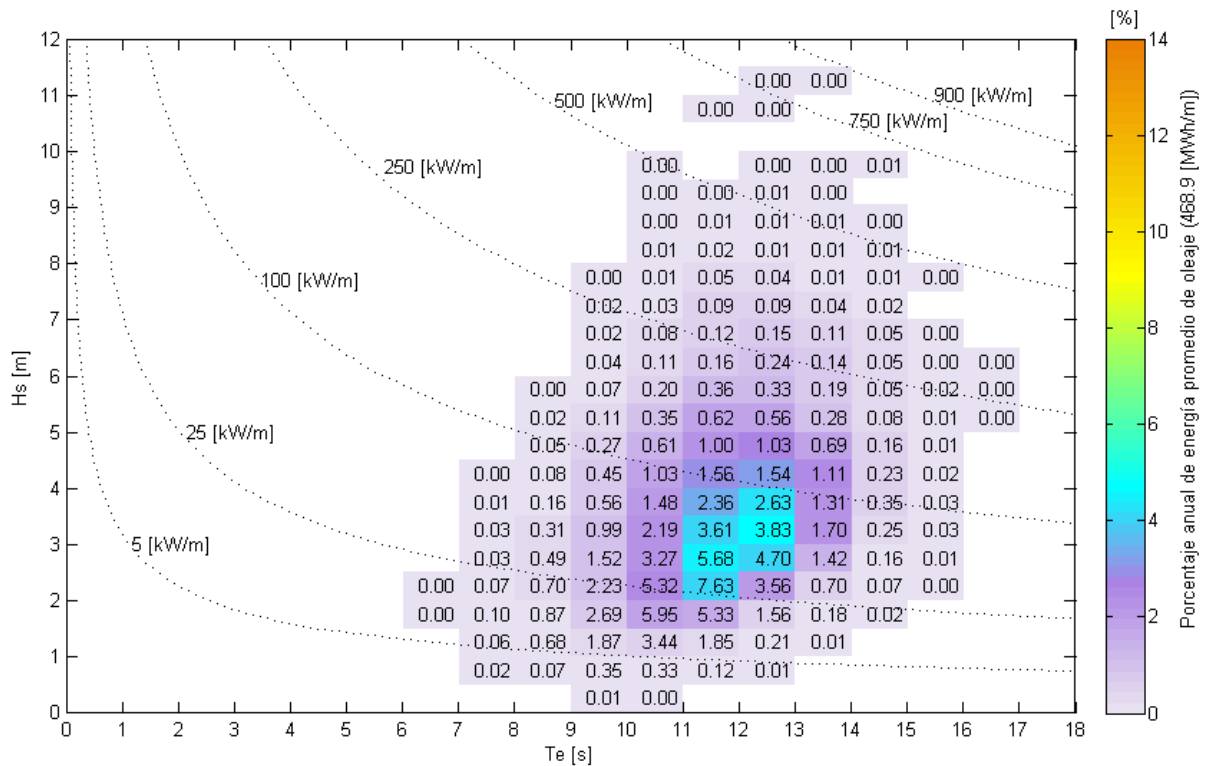


Figura 24: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 4 de Isla de Pascua.

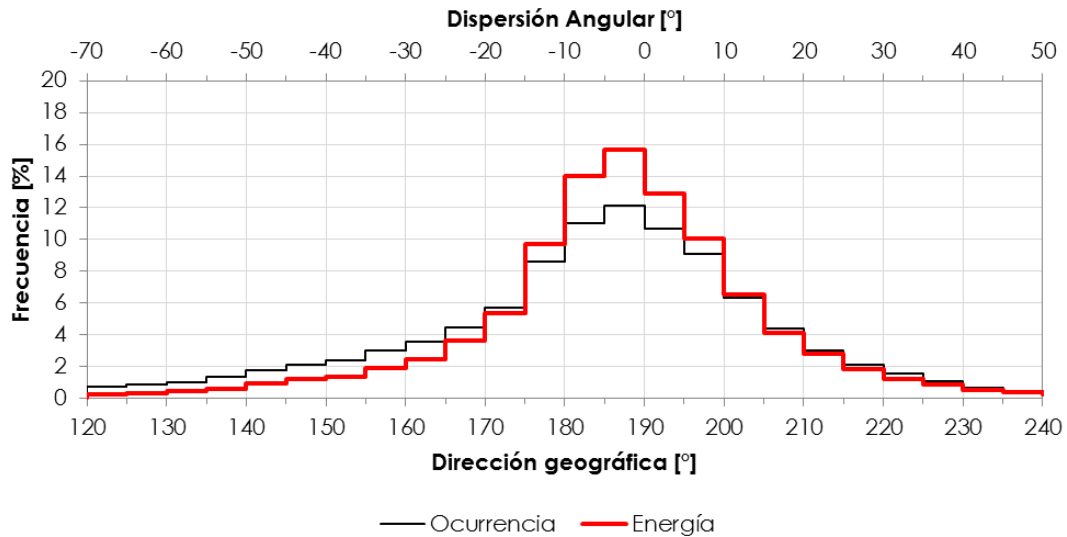


Figura 25 Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 4 de Isla de Pascua

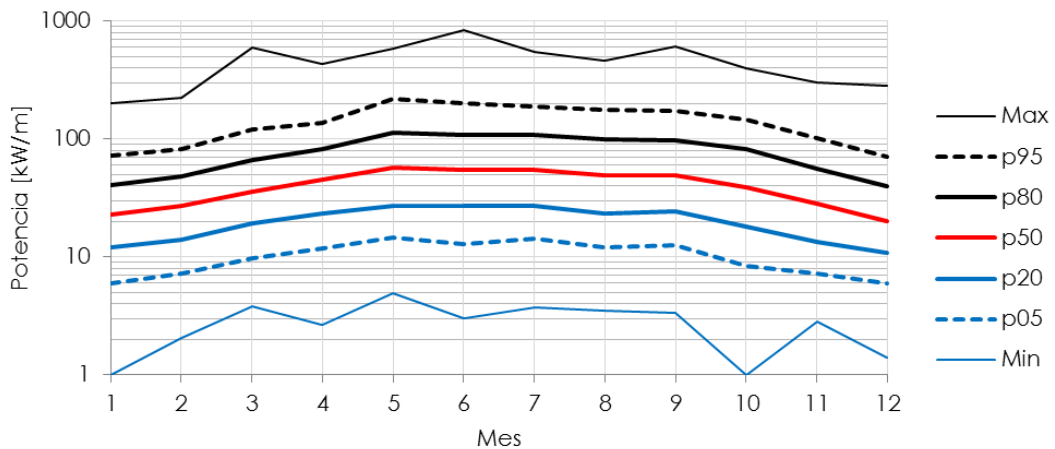


Figura 26 Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 4 de Isla de Pascua

La altura del oleaje es mayor en época invernal, superando los 3 [m] la mitad del tiempo entre mayo y julio, mientras que la altura de 5 [m] es excedida más del 5% del tiempo entre mayo y septiembre. Los periodos energéticos tienden a disminuir en invierno, sin embargo, la mediana de los datos se encuentra entre 11 y 12 [s]. En cuanto a la dirección de incidencia, la mediana presenta muy baja variabilidad, con dirección de 187°, mientras que la dispersión direccional tiende a disminuir entre febrero y abril. En general, los datos cuya dirección media es mayor a 225° ocurren menos del 5% durante la mayoría del año (Anexo A).

La potencia (Figura 26) presenta un aumento de su magnitud en la época invernal, duplicando entre mayo y agosto (~50 [kW/m] la mediana) los valores que se presentan entre noviembre y febrero (~25 [kW/m]). En el caso de la potencia que es superada el 80% del tiempo, entre marzo y septiembre su valor supera 20 [kW/m], teniendo el resto del año la magnitud es superior a 10 [kW/m]. Diciembre es el mes de menor disponibilidad del recurso.

5.5 Sitio 5 (IP5)

La altura media en el sitio es de 2.48 [m], con valores de 1 a 3.5 [m] el 83% del tiempo, siendo el tramo de 1 a 3 [m] el más frecuente. Las alturas presentan valores sobre 5 [m] el 2.5% del tiempo, llegando a un máximo de 9.93 [m] (Figura 27). Los periodos energéticos presentan valores principalmente de 10 a 14 [s] (78%), con una media de 11.3 [s]. Las direcciones presentan valor medio de 173°, presentando el 87% del tiempo valores entre 150 y 210°. Para este sitio no se presentan condiciones desde el cuarto cuadrante, mientras que direcciones entre 90 y 150° representan el 12% de la estadística (Figura 28).

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 2.0 a 4.5 [m] y periodos de 10 a 14 [s]; intervalos que representan el 61% de la energía total en el sitio. En cuanto a la direccionalidad de la energía, las mayores frecuencias se presentan entre 160 y 195 (79%), siendo la dirección 180° la de mayor concentración de energía. La distribución de frecuencias evidencia un comportamiento levemente asimétrico, presentándose mayor dispersión direccional hacia el sureste.

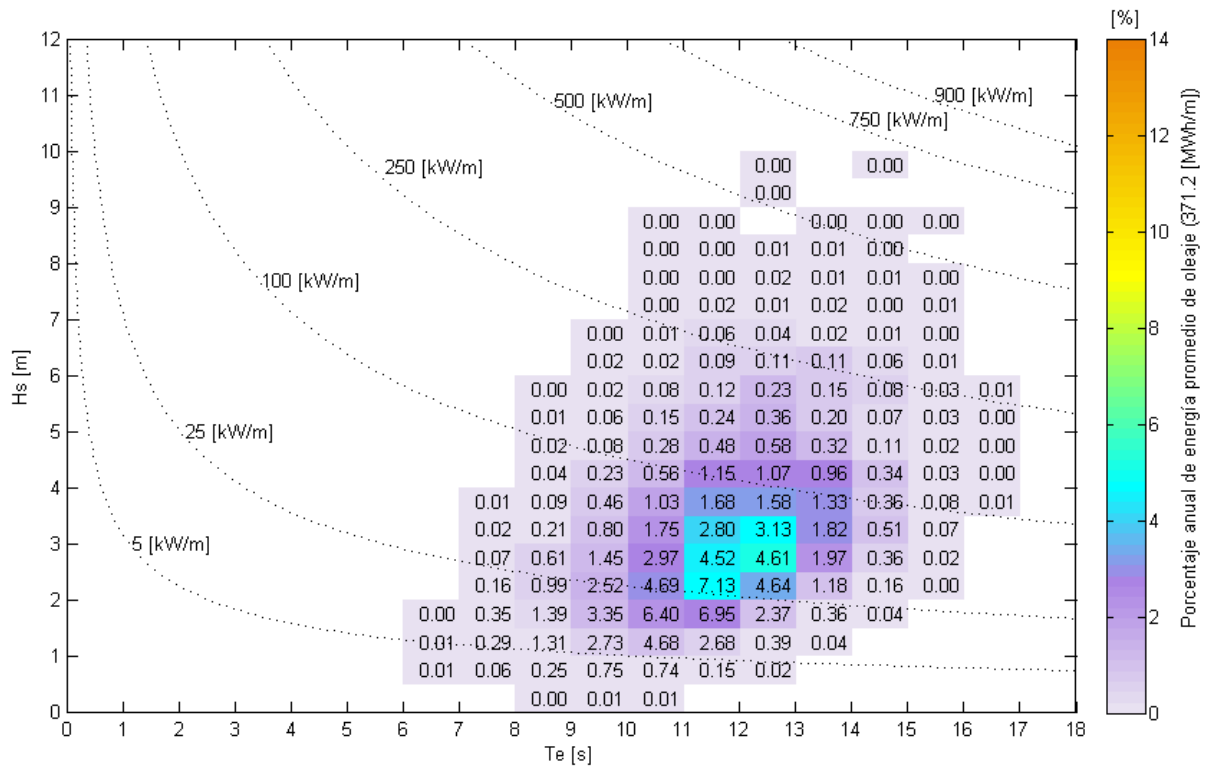


Figura 27: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 5 de Isla de Pascua.

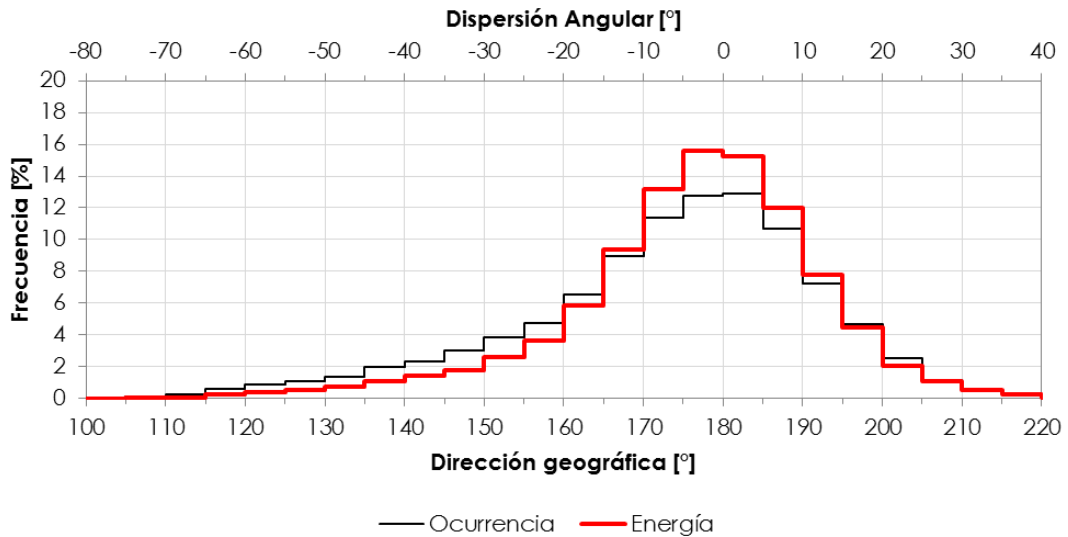


Figura 28 Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 5 de Isla de Pascua

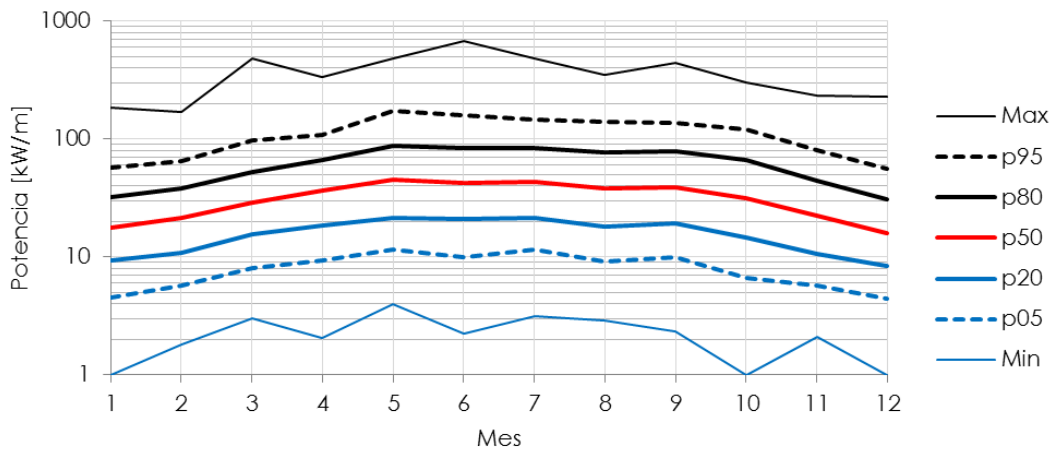


Figura 29 Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 5 de Isla de Pascua

La mediana de la altura supera los 2 [m] todos los meses, salvo diciembre y enero, mientras que es cercana a 2.8 [m] entre mayo y julio. La altura que es excedida el 5% del tiempo entre abril y octubre es mayor a 4 [m], mientras que de mayo a julio es mayor a 5 [m]. Los periodos energéticos presentan características de mediana y variabilidad similares a lo largo del año, siendo levemente mayores entre marzo a mayo y de septiembre a noviembre. La dirección de incidencia presenta una mediana de muy baja variabilidad, con dirección de 173°, al igual que la dispersión direccional. Los caos que superan la dirección 202.5° poseen porcentajes mensuales menores a 5% la mayoría del año (Anexo A).

Para la potencia (Figura 29), la mediana entre mayo y julio (~45 [kW/m]) duplica a la que se presenta entre noviembre y febrero (~20 [kW/m]). La potencia que es superada el 80% del tiempo es siempre mayor a 8 [kW/m], llegando entre mayo y julio a valores en torno a 20 [kW/m].

6 RESULTADOS EN ISLA ROBINSON CRUSOE

6.1 Distribución espacial de potencia de oleaje

La Figura 30 presenta la condición media de la altura significativa y dirección de oleaje. Se observa que las mayores alturas ocurren en la isla Santa Clara -ubicada en el extremo suroeste- y en el extremo sureste de la isla, en particular en los sectores de Playa Larga y Verdugo (ver Figura 2). Esta porción de costa tiene una orientación aproximadamente perpendicular al oleaje reinante del suroeste, mientras que la que la porción de costa restante es protegida del oleaje por la presencia de la isla Santa Clara. En el caso del extremo oeste, el oleaje se presenta con mayor magnitud en las cercanías de bahía El Padre y en lugares puntuales hacia el extremo noroeste de la isla. En el caso de la costa noreste, ubicación del poblado de San Juan Bautista, el oleaje se presenta con baja magnitud, dados los efectos de difracción que se presentan en la zona. Solo en los eventos extremos las condiciones de oleaje se presentan con alturas del orden de 1.5 [m].

La Figura 31, que presenta el mapa de altura excedido 5% del tiempo, da cuenta que las alturas en esta proporción alcanzan valores en general en torno a los 4 [m]. Por otro lado, el porcentaje de tiempo en el que la altura supera 1 [m] se presenta en la Figura 32, y que posee valores en general sobre el 80% del tiempo en gran parte de la costa sur.

La potencia presenta mayor magnitud en la costa sureste y en el extremo noroeste. Las concentraciones se dan exclusivamente en estas zonas dados los efectos de protección de la Isla Santa Clara (Figura 33). En la Figura 34 se presenta la potencia que es superada el 20% del tiempo, con el objeto de identificar las menores potencias que se presentan en las zonas. En este caso, las potencias en las zonas de concentración son en general superiores a 15 [kW/m].

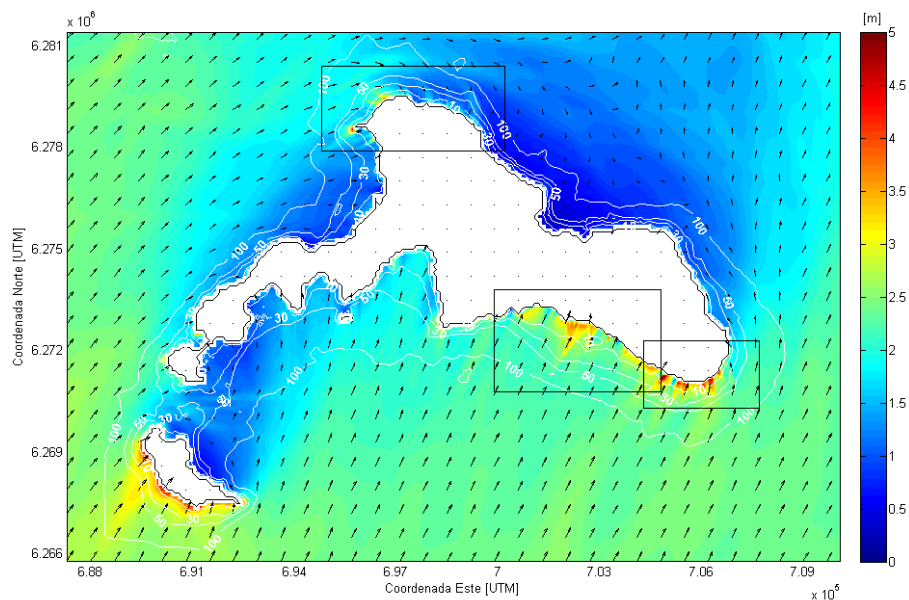


Figura 30 altura significativa y dirección promedio en Isla Robinson Crusoe

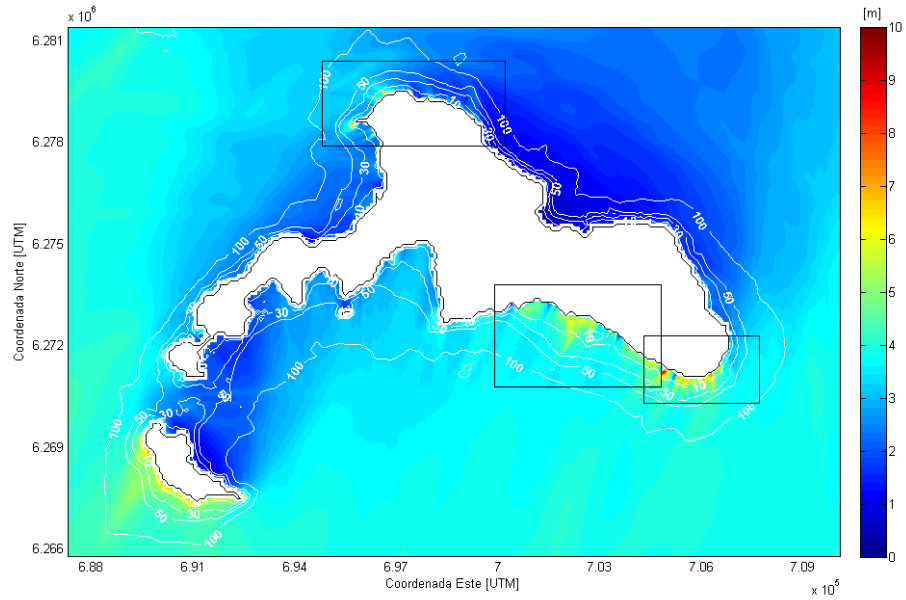


Figura 31 Altura significativa de oleaje que es superada el 5% del tiempo en Isla Robinson Crusoe

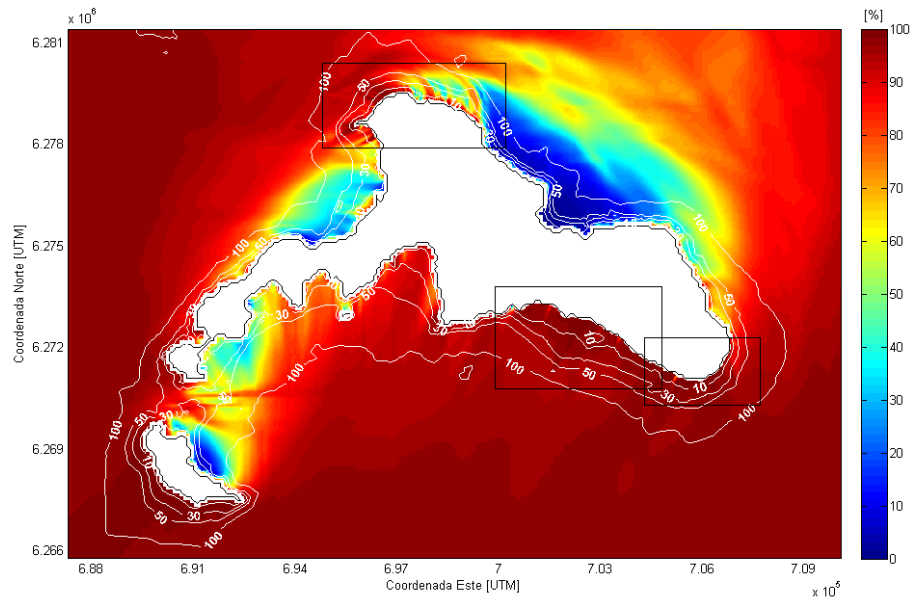


Figura 32: % de tiempo en el que la altura de ola tiene valor superior a 1m en Isla Robinson Crusoe.

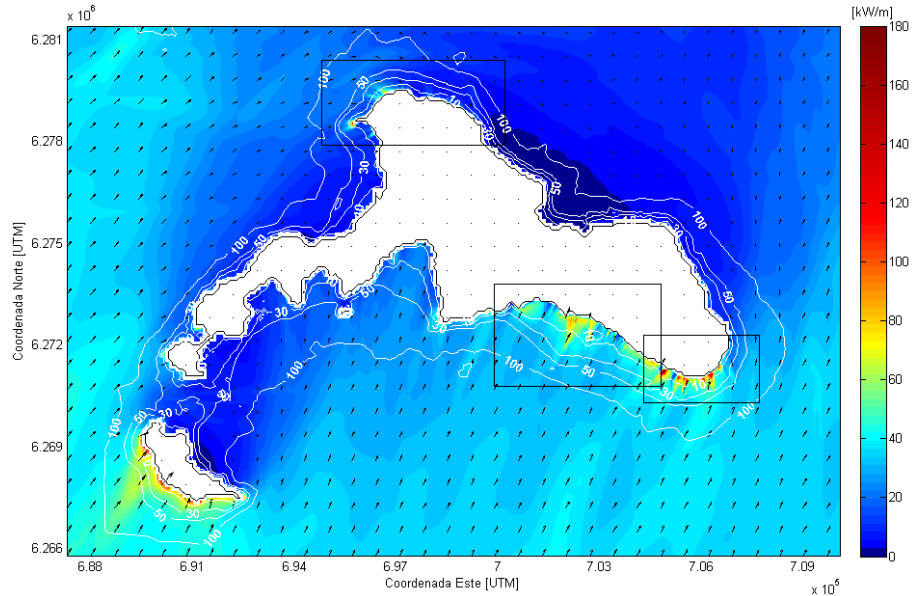


Figura 33: Potencia y dirección media en Isla Robinson Crusoe.

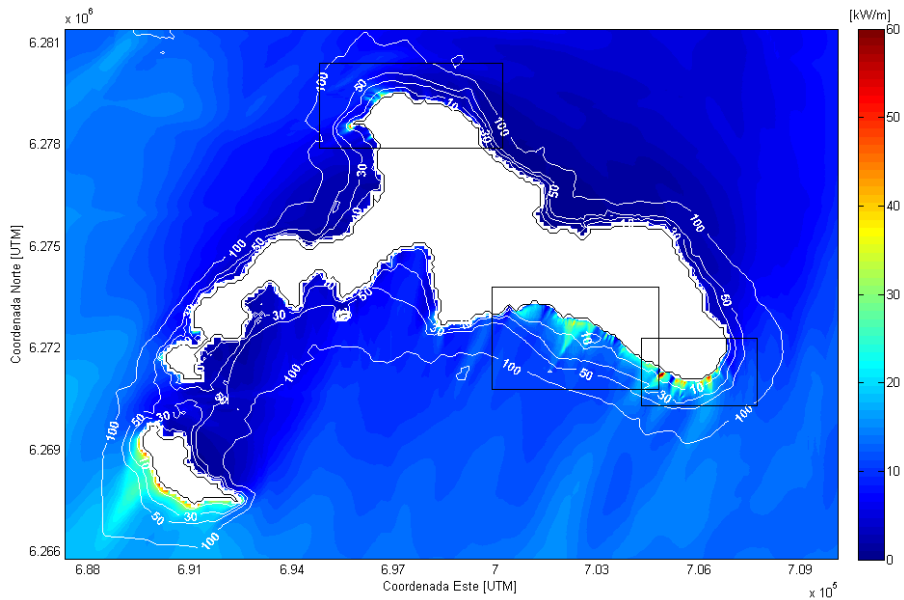


Figura 34: Potencia de ola que es superada el 20% del tiempo en Isla Robinson Crusoe.

6.2 Definición de sitios de interés

La Figura 35 presenta una vista de los mapas de potencia en alta resolución de las zonas seleccionadas, junto con la propuesta de los 5 sitios en los que se efectúa un análisis más acabado. En la Figura 37 se presentan los mapas detallados para cada zona. Los sitios escogidos corresponden a las zonas en las que se presentaran mayores concentraciones de energía. De los sitios propuestos, el 3 y 4 se encuentran sobre los transectos realizados con la batimetría mono-haz, por lo que se estima una mayor confiabilidad respecto a la ubicación y profundidad. Para los sitios 1, 2 y 5 se estima una confiabilidad menor, ya que la profundidad correspondiente se obtiene del proceso de interpolación (Figura 36).

Desde el punto de vista de la accesibilidad, todos los sitios se encuentran en zonas con costa acantiladas, dificultando la proyección de obras de apoyo en el proceso de generación de energía. Sin embargo, el sitio 1 se encuentra en las cercanías de una quebrada, lo que supone una condición ventajosa.

Durante la formulación del proyecto, se presentó a Fundación Chile los valores medios de los parámetros de altura significativa, periodo energético, dirección media y potencia en las profundidades 25, 30 y 50 [m] para estos sitios. Fundación Chile solicitó descartar los sitios 2 y 5, y analizar en forma detallada en los sitios 1, 2 y 4 en la profundidad de 30 [m]. En lo sucesivo, estos sitios serán denominados RC1, RC2 y RC4 respectivamente, y cuya información geográfica se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Ubicación de los sitios de interés en Isla Robinson Crusoe.

Sitio	Código	Latitud [UTM]	Longitud [UTM]	Profundidad [m]
1	RC1	696300	6279750	30
3	RC3	701825	6271750	30
4	RC4	704550	6270925	30

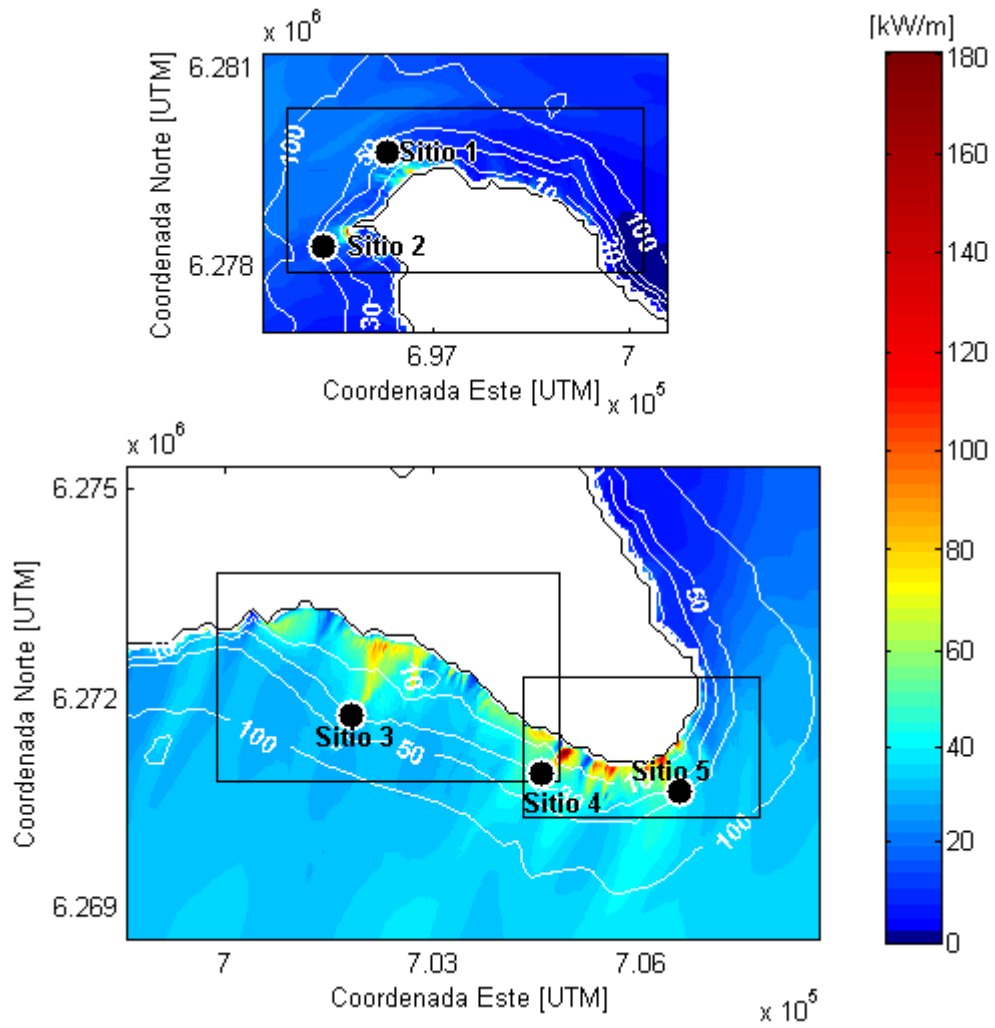


Figura 35: Sitios de interés en Isla Robinson Crusoe

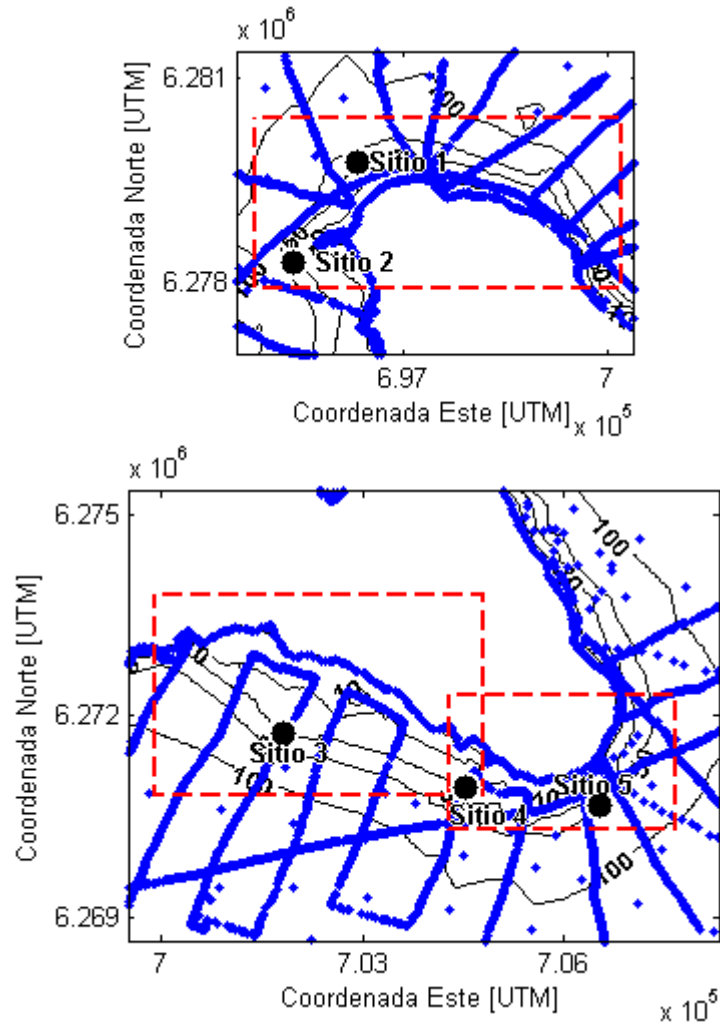


Figura 36: Información batimétrica en Isla Robinson Crusoe

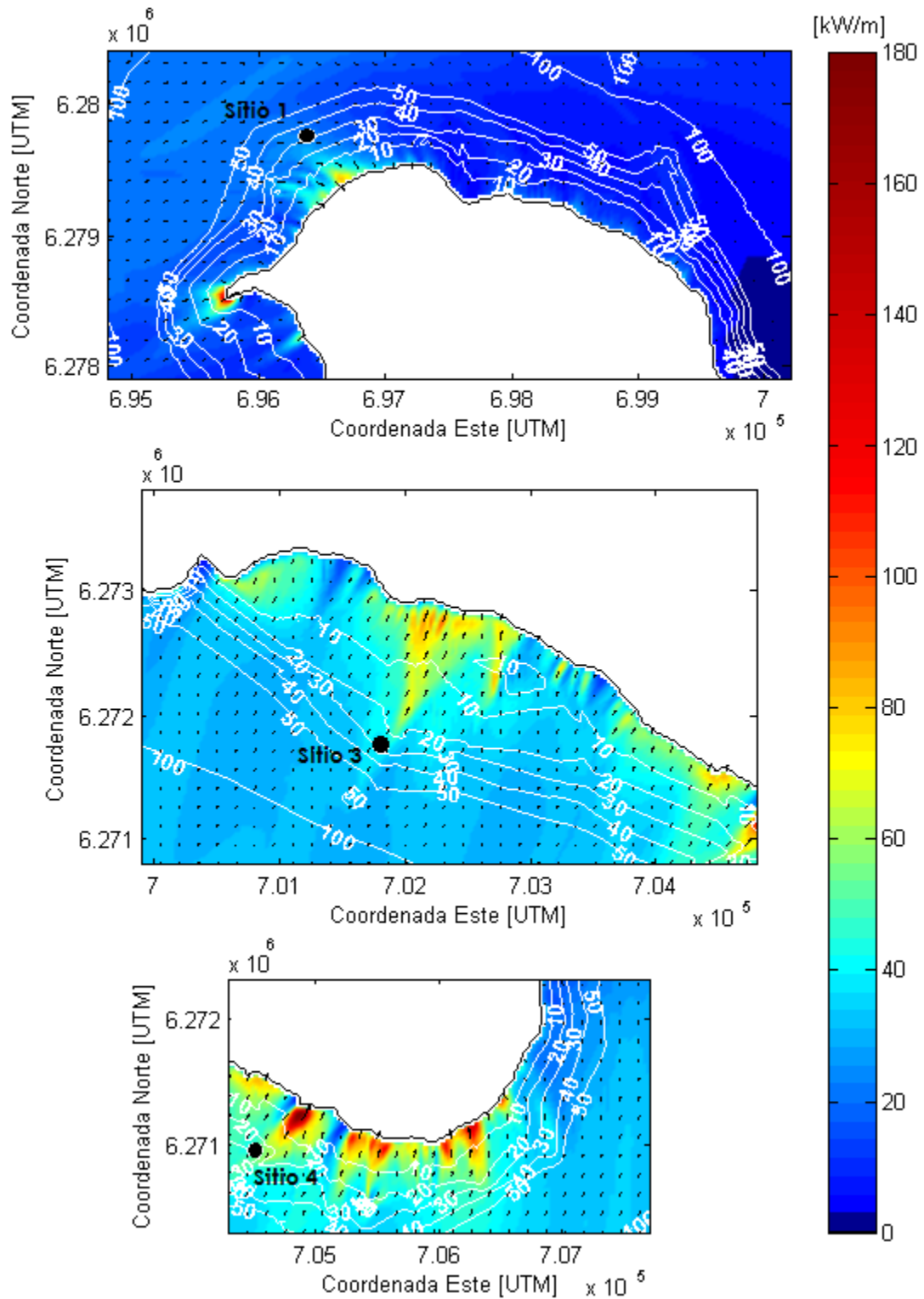


Figura 37: Mapa de alta resolución de la potencia en Isla Robinson Crusoe. Arriba dominio RC25(1), centro dominio RC25(2), abajo dominio RC25(3).

6.3 Sitio 1 (RC1)

La altura media en el sitio es de 1.97 [m], con valores de 1.0 a 2.5 [m] el 77% del tiempo, siendo el tramo de 1 a 2 [m] el más frecuente. Las alturas presentan valores sobre 5 [m] el 0.27% del tiempo, llegando a un máximo de 7.77 [m]. Los periodos energéticos presentan valores principalmente de 8 a 12 [s] (93%), con una media de 10.7 [s] en toda la estadística. En cuanto a la direccionalidad del oleaje, el valor medio de la serie es de 276°, presentando el 90% del tiempo valores de 240 a 300°. El oleaje del cuarto cuadrante representa el 9% de toda la estadística.

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 1.0 a 3.5 [m] y periodos de 9 a 13 [s]. En estos intervalos se presenta el 84% de la energía total del sitio. Las direcciones se presentan en un 81% entre 250 a 290°, siendo la dirección 275° la de mayor frecuencia. Este sitio posee una alta asimetría en la dirección de incidencia de la energía, teniendo mayor variabilidad hacia el sur.

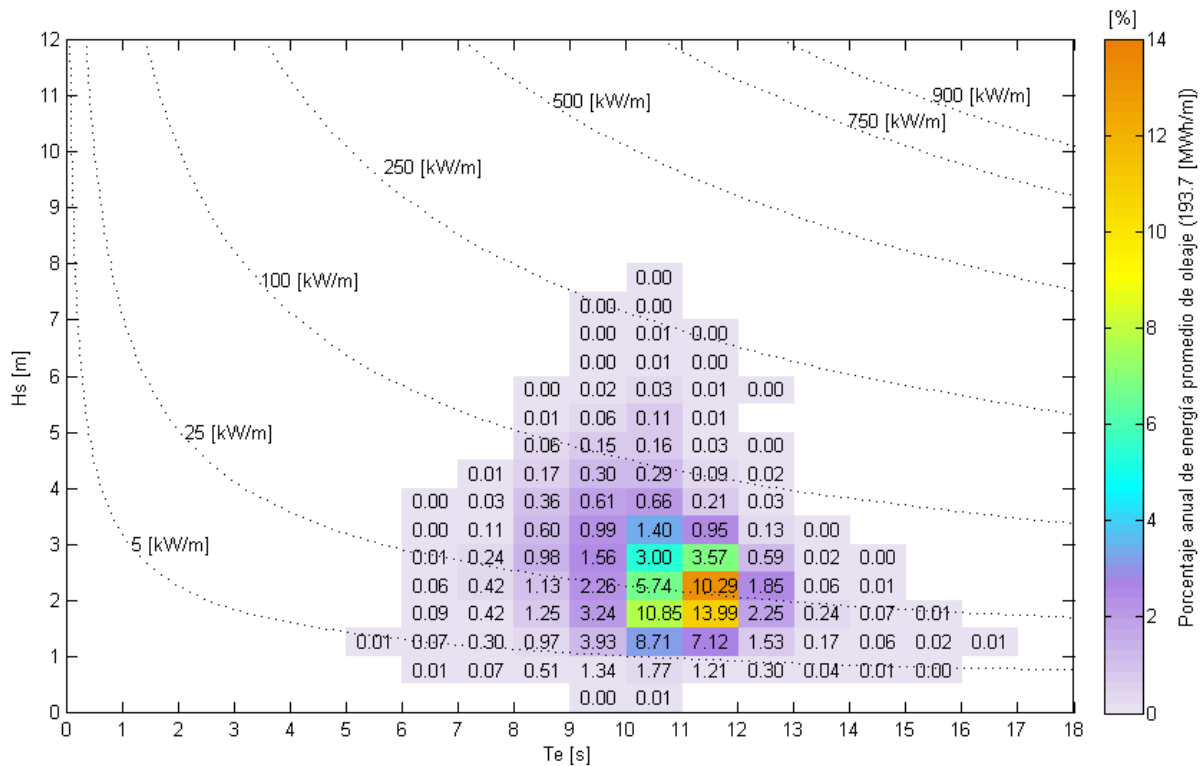


Figura 38: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 1 de Robinson Crusoe.

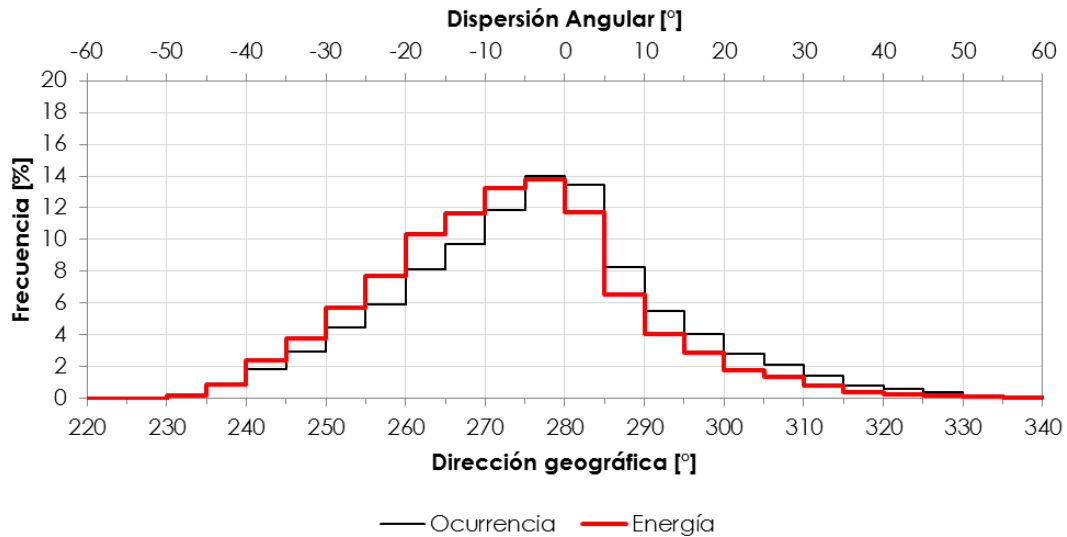


Figura 39: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 1 de Isla Robinson Crusoe.

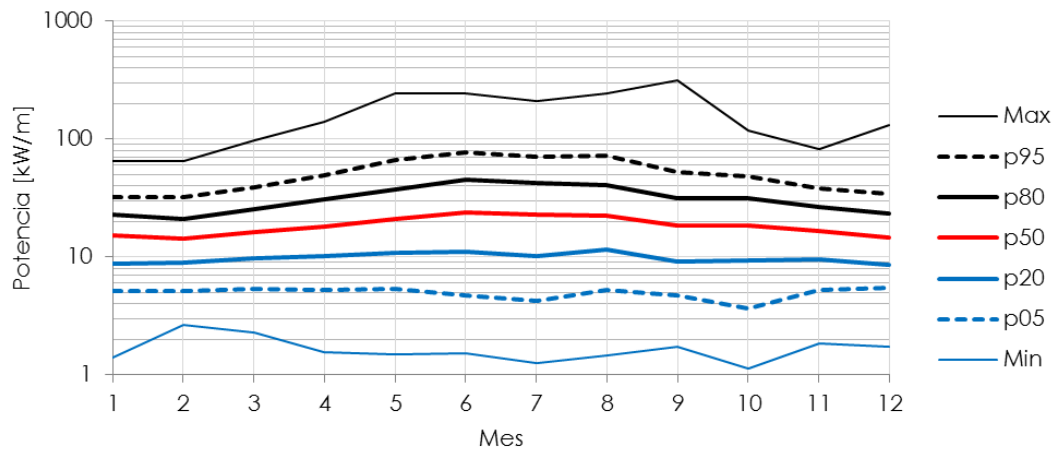


Figura 40: Variabilidad mensual de potencia para distintos percentiles en el sitio 1 de Isla Robinson Crusoe.

A lo largo del año, la mediana mensual de la altura varía entre 1.6 y 2.2 [m], presentando el 5% del tiempo entre mayo y agosto valores cercanos a 4 [m]. La mediana mensual de los periodos energéticos presenta valores cercanos a 11 [s], salvo entre mayo y septiembre, en los cuales baja a valores cercanos a 10.4 [s]. La dirección de incidencia presenta una variabilidad de la mediana menor a 10° con valores levemente superiores a 270° . La variabilidad de la dirección es baja en torno a la mediana. En general, alrededor del 90% del tiempo la dirección del oleaje varía entre 240° y 315° (Anexo A).

La potencia (Figura 40) presenta un aumento de su magnitud en la época invernal, llegando la mediana a valores de 25 [kW/m] en junio y bajo 16 [kW/m] en diciembre. En el caso de la potencia que es superada el 80% del tiempo, permanece todo el año entorno a los 5 [kW/m], salvo en julio y octubre que desciende a mínimos de 3.7 [kW/m].

6.4 Sitio 3 (RC3)

La altura media en el sitio es de 2.54 [m], con valores de 1 a 4 [m] el 92% del tiempo, siendo el tramo de 2 a 3 [m] el más frecuente. Las alturas presentan valores sobre 5 [m] el 1.27% del tiempo, llegando la condición máxima a un valor de 9.24 [m]. Los periodos energéticos presentan valores principalmente de 8 a 14 [s] (96%), con una media de 11 [s] en toda la estadística. La dirección media de la serie es de 206°, presentando el 98% del tiempo valores entre 180 y 240°. Para este sitio no se presentan condiciones desde el cuarto cuadrante y desde el segundo cuadrante se presentan sólo direcciones entre 150 y 180° (0.68%).

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 2.0 a 4.5 [m] y periodos de 9 a 14 [s]. En estos intervalos se presenta el 72% de la energía total en el sitio. En el caso de las direcciones, la energía se presenta en un 84% con direcciones entre 190° y 220°, siendo la dirección 200° la que presenta la mayor frecuencia. La distribución de energía presenta una alta simetría, conteniendo el rango $\pm 30^\circ$ el 98% de la energía total.

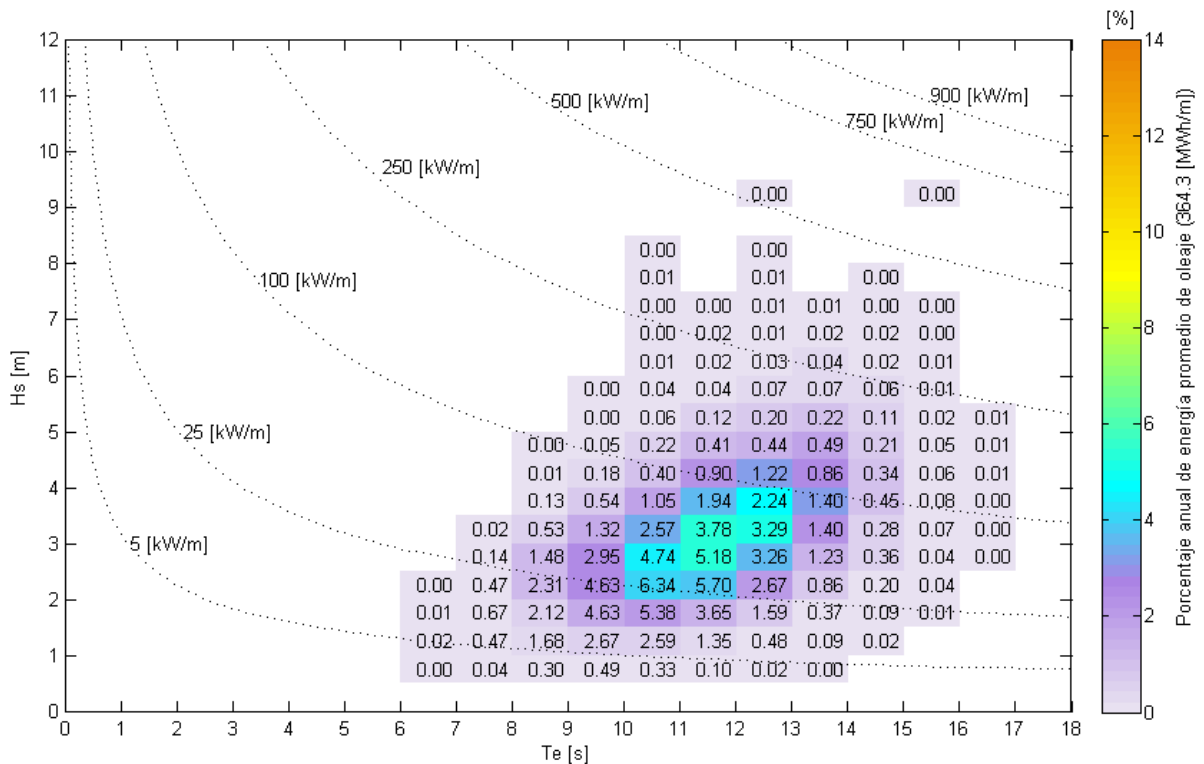


Figura 41: Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 3 de Isla Robinson Crusoe.

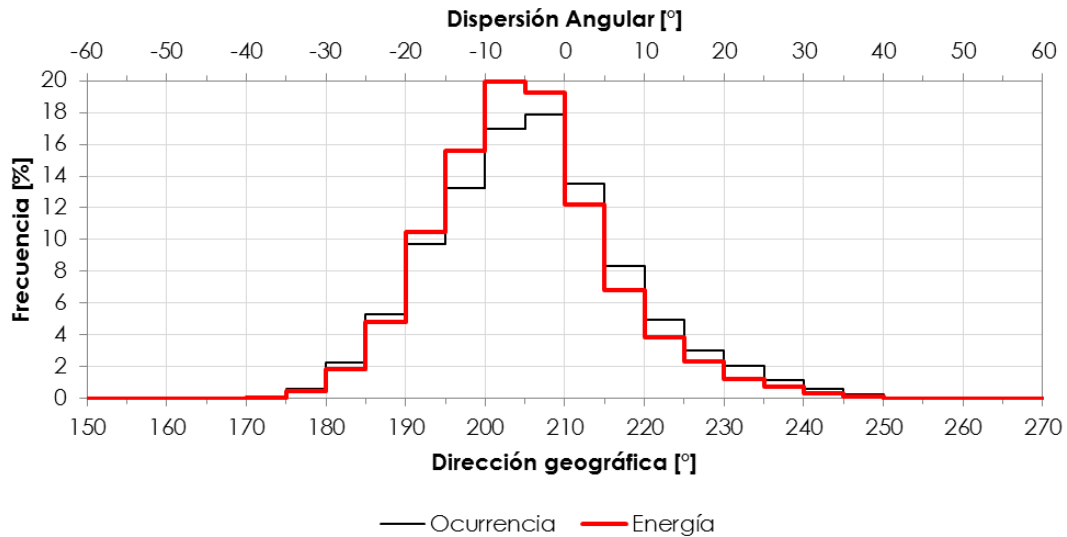


Figura 42: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 3 de Robinson Crusoe.

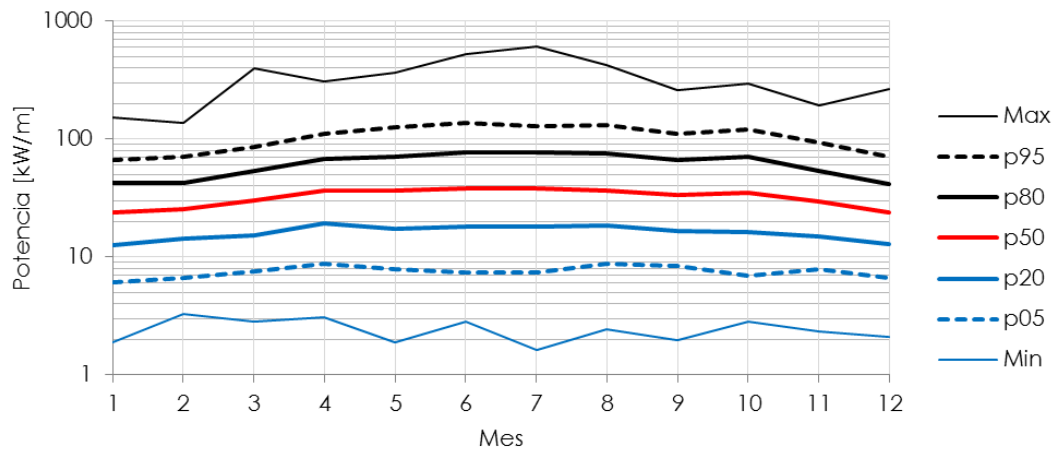


Figura 43: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 3 de Robinson Crusoe.

La mediana de las alturas presenta valores entre 2.2 [m] en verano y 2.7 [m] en invierno, siendo excedida más del 5% del tiempo la altura de 4 [m] entre abril y noviembre. Los periodos energéticos disminuyen en invierno, sin embargo, la mediana de los datos oscila entre 11 y 12 [s]. La dirección de incidencia presenta una dispersión direccional baja durante el año, aumentando levemente hacia el suroeste en invierno. En general todas las direcciones se presentan en un rango menor a 90°, salvo en junio, mes en el cual este valor aumenta levemente (Anexo A).

La potencia (Figura 43) presenta un aumento de su magnitud en invierno, llegando a valores cercanos a 40 [kW/m] entre abril y octubre, mientras que en diciembre y enero, los meses de menor magnitud en general, los valores se acercan a 22 [kW/m]. En el caso de la potencia que es superada el 80% del tiempo, la magnitud varía de cerca de 12 [kW/m] en enero a cerca de 20 [kW/m] entre abril y agosto.

6.5 Sitio 4 (RC4)

La altura de ola media en el sitio es de 2.93 metros, con valores de entre 1.5 y 4 metros el 79% del tiempo, siendo el tramo de 2 a 3 metros el más frecuente. Las alturas de ola presentan valores sobre 5 metros el 3.8% del tiempo, llegando la condición máxima a un valor de 10.59 metros. En el caso de los periodos energéticos, estos presentan valores principalmente entre 8 y 14 segundos (97%), con una media de 11 segundos en toda la estadística. En cuanto a la direccionalidad del oleaje, el valor medio de la serie es de 214°, presentando el 97% del tiempo valores entre 180 y 240°. Para este sitio no se presentan condiciones desde el cuarto cuadrante y desde el segundo cuadrante se presentan sólo direcciones entre 150 y 180° (0.07%).

En el caso de la distribución de energía, las mayores frecuencias se presentan en intervalos de altura de 2 a 5m y periodos de 9 a 14s. En estos intervalos se presenta el 71% de la energía total que se presenta en el sitio. Considerando la incidencia, se observa en la Figura 45 una alta simetría respecto al valor más frecuente, 210°, mientras que entre 195° y 230° se presenta el 87% de la energía disponible en el sitio.

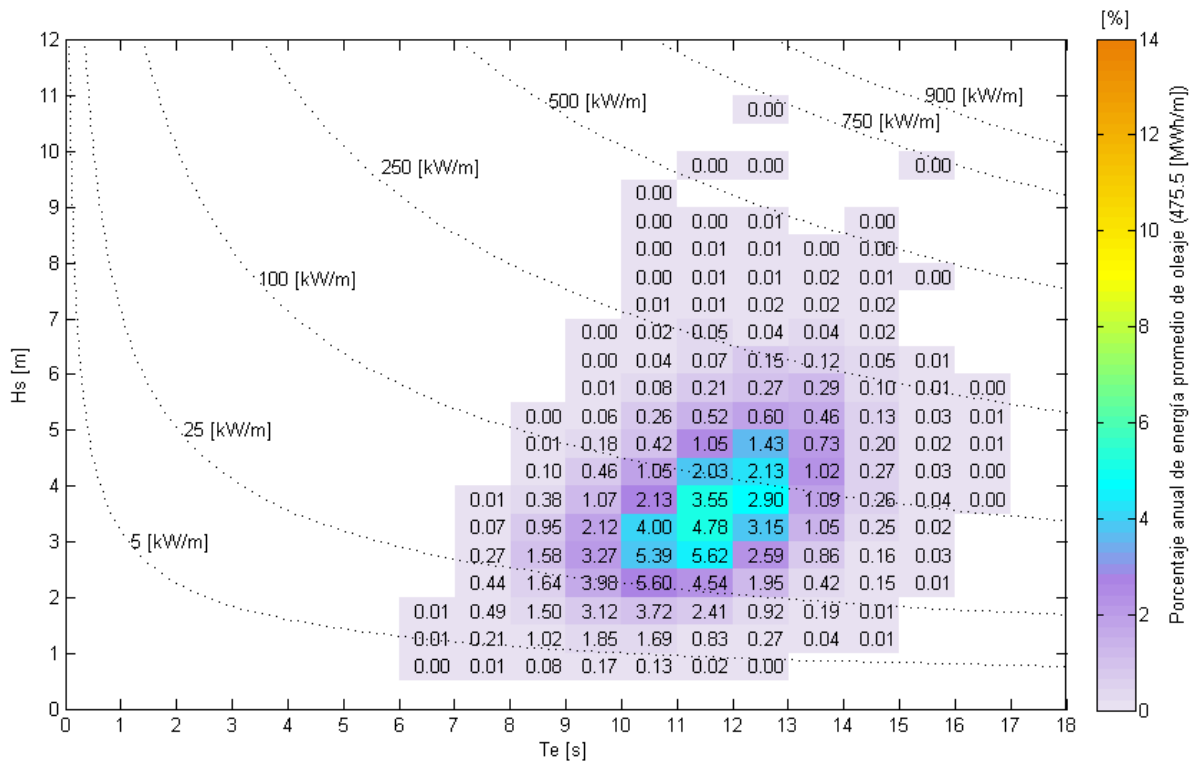


Figura 44 Porcentaje de ocurrencia (números) y de la energía total (colores) para cada combinación de altura significativa y periodo energético en el sitio 4 de Isla Robinson Crusoe

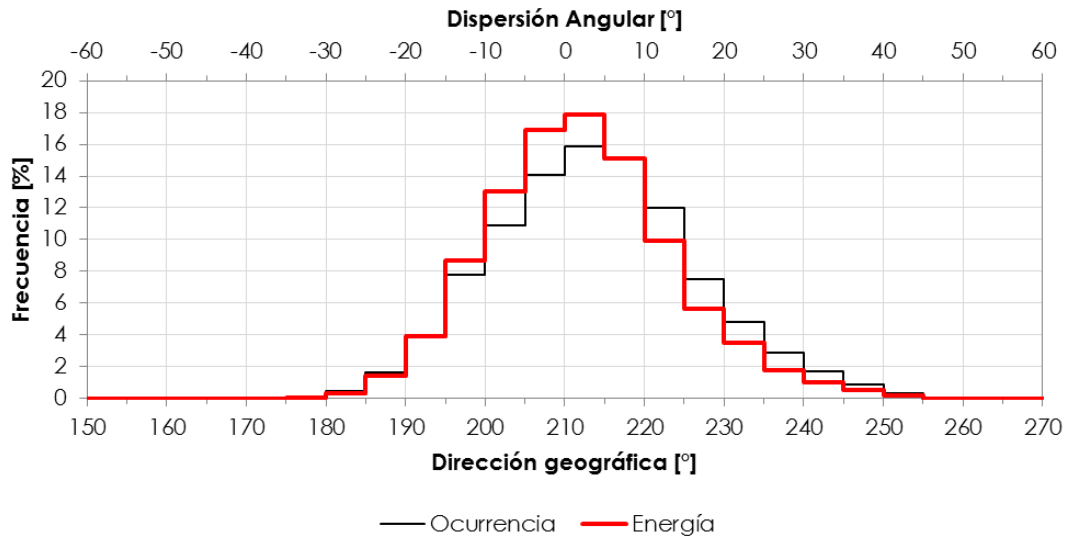


Figura 45: Frecuencia de ocurrencia y de energía asociada a distintas direcciones de incidencia del oleaje y la dispersión angular respecto al caso más frecuente en el sitio 4 de Robinson Crusoe.

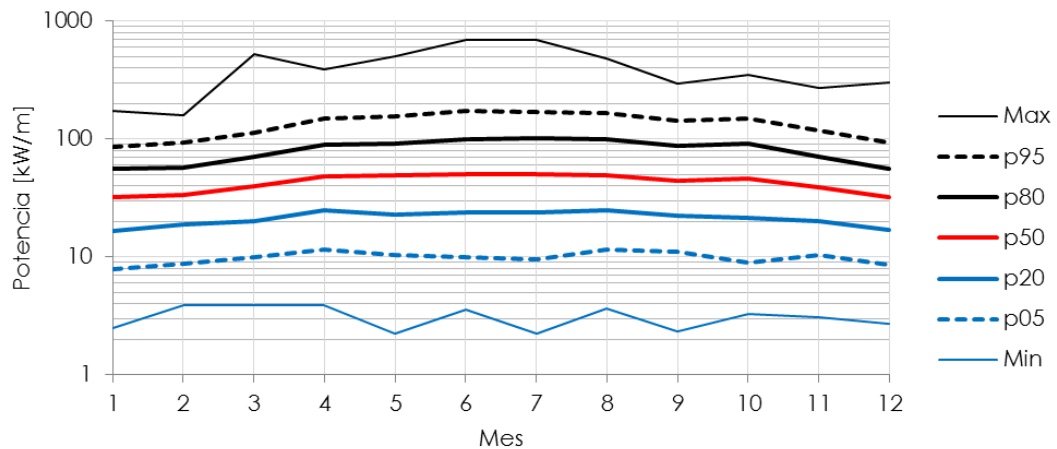


Figura 46: Variabilidad mensual de la potencia para distintos percentiles en el sitio 4 de Robinson Crusoe.

El oleaje se presenta mediana mensual de altura cercana a 2.5 [m] de diciembre a febrero, mientras que de abril a octubre su valor es cercano a 3 [m]. La altura que es excedida el 5% del tiempo supera los 5 [m] entre mayo y agosto, disminuyendo a 4 [m] en diciembre y enero. Entre abril y octubre, el periodo energético tiene mediana mensual en torno a 11.3 [s], mientras que entre diciembre y febrero disminuye a cerca de 10.2 [s]. La dirección presenta una baja dispersión en torno a la mediana, con valores cercanos a 215° en el año. La distribución de la dirección es simétrica, con datos se presentan en una banda menor a 90° (Anexo A).

La potencia (Figura 46) se incrementa entre marzo y octubre respecto a diciembre y enero. La mediana mensual en este tramo presenta valores en torno a 50 [kW/m] respecto a los cerca de 20 [kW/m] durante el verano. La potencia que es superada el 80% del tiempo presenta valores superiores a 20 [kW/m] entre marzo y noviembre, teniendo diciembre y enero valores cercanos a 17 [kW/m].

7 ANÁLISIS DE SITIOS SELECCIONADOS

En esta sección se analizan los resultados, con miras a la futura implementación de dispositivos de explotación del recurso energético por cada sitio seleccionado en las islas Robinson Crusoe y Pascua. La caracterización de los sitios se define sobre la base de criterios de operación de diferentes dispositivos, de manera de proporcionar información relevante a los desarrolladores.

La Tabla 8 resume los valores representativos por cada sitio de interés. Respecto a la altura, en los sitios RC4, IP4 y RC3 se presentan las mayores magnitudes, mientras que en RC1 se presentan las menores (Figura 47). En el caso de la altura que es superada el 5% del tiempo, en los sitios IP4 y RC4 el valor es cercano a 5 [m], mientras que en RC3, IP2 e IP5 dicho valor es cercano a 4.2 [m].

Tabla 8: Valores representativos de las características de cada sitio seleccionado.

Sitio	Valor medio				P Exc 80% [kW/m]	H _{m0} Exc 95% [m]	H _{m0} >1m [%]	Energía disponible por año [MWh/m]
	H _{m0} [m]	T _e [s]	D _m [°]	P [kW/m]				
IP2	2.33	11.6	237	37.05	12.52	4.10	96	332.6
IP4	2.75	11.3	187	50.82	16.90	4.79	98	468.9
IP5	2.48	11.2	173	41.29	13.51	4.28	97	371.2
RC1	1.97	10.7	276	22.82	9.89	3.25	94	193.7
RC3	2.54	11.0	206	41.15	19.91	4.15	98	364.3
RC4	2.93	10.9	214	54.24	20.71	4.75	99	475.5

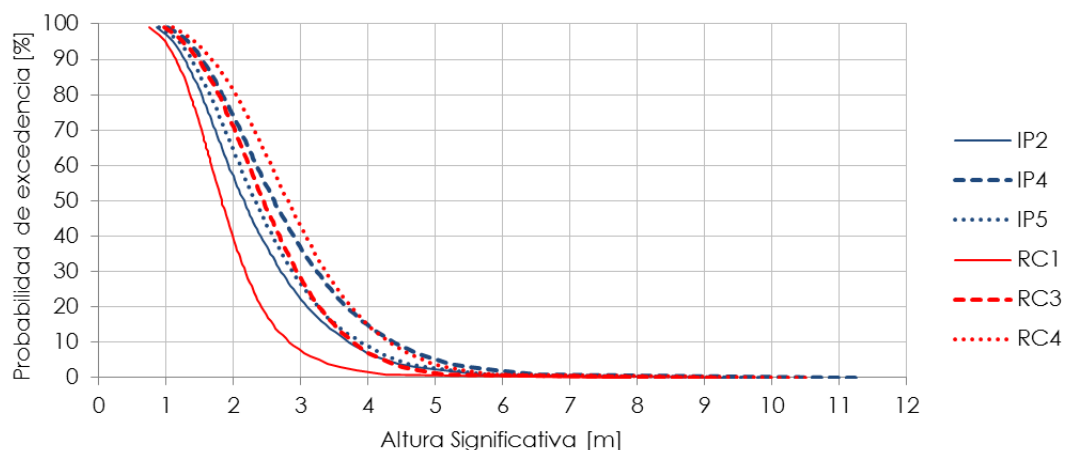


Figura 47: Probabilidad de excedencia de altura significativa en los sitios seleccionados.

En el caso del periodo energético, los sitios de Isla de Pascua presentan valores mayores que en Robinson Crusoe (Figura 48), teniendo los sitios IP2 y RC1 comportamientos diferenciados respecto a los demás, lo que puede deberse a su posición relativa hacia el oeste de las islas respectivas, donde los efectos de propagación de oleaje, en particular de refracción, son mayores.

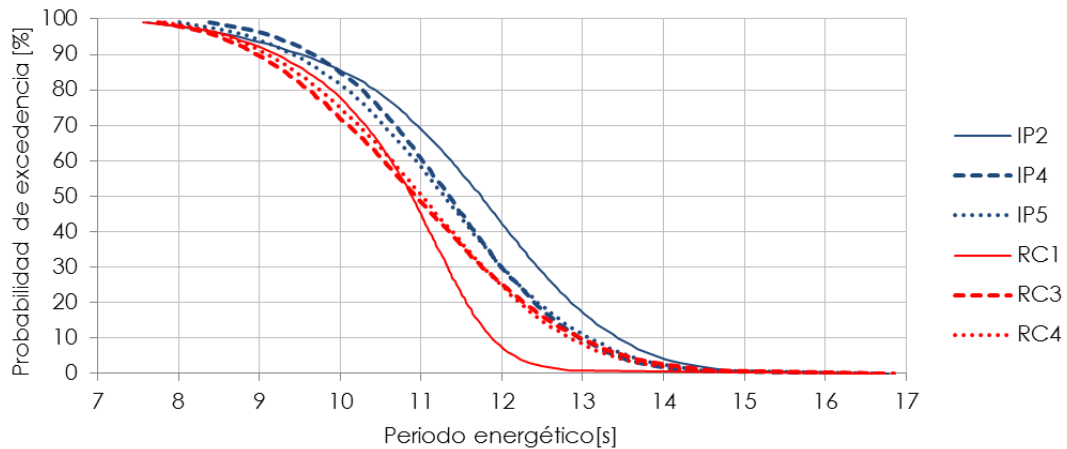


Figura 48: Probabilidad de excedencia de periodo energético en los sitios seleccionados.

Desde el punto de vista de la variabilidad direccional del oleaje, los sitios RC3 y RC4 presentan las condiciones más favorables para dispositivos cuyo diseño depende del ángulo de incidencia, ya que en ambos casos casi la totalidad de la estadística se presenta en un rango menor a 90° (ver Figura 49). Por el contrario, los sitios IP2 e IP4 presentan menores ventajas según este criterio.

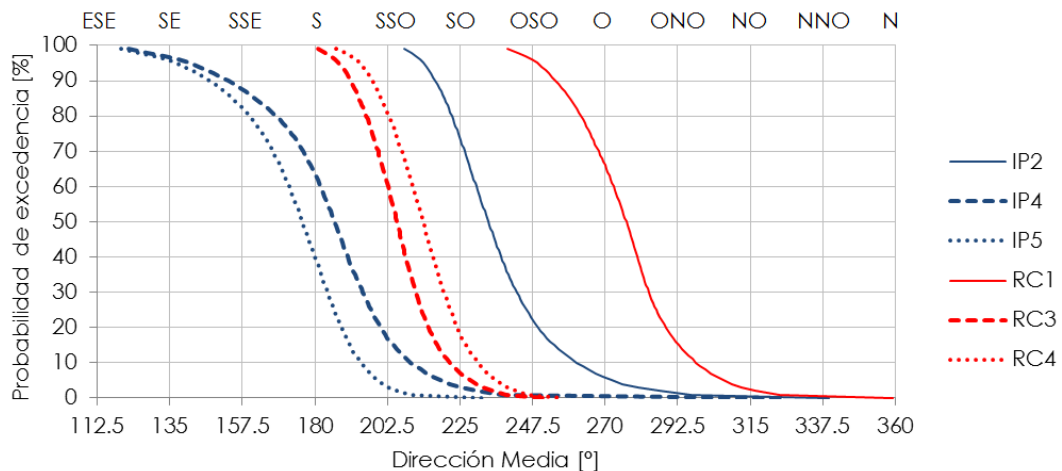


Figura 49: Probabilidad de excedencia de dirección media en los sitios seleccionados.

En el caso de la simetría respecto a la mediana de la dirección media, los sitios RC3, RC4 e IP4 son los que poseen mejores características, mientras que la RC1 es el que presenta la asimetría

más marcada. Los restantes sitios presentan asimetrías leves (ver frecuencia de ocurrencia de dirección por sitio).

Los sitios RC4 e IP4 solo los con mayor disponibilidad energética, con valores de 475.5 y 468.9 [MWh/m] anuales respectivamente. El sitio RC1 es el que presenta la menor energía disponible, con 193.7 [MWh/m] al año.

Desde el punto de vista de la distribución de la potencia (Figura 50), se observan similitudes de comportamiento cuando la magnitud de esta aumenta. Esto es notorio en probabilidades de excedencia menores a 30% entre los sitios RC4 e IP4, y entre RC3 e IP5.

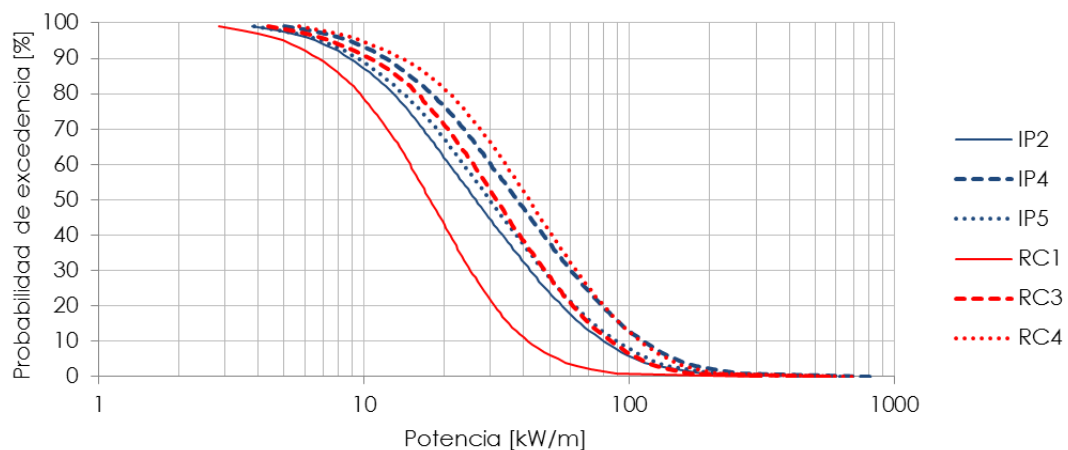


Figura 50: Probabilidad de excedencia de potencia en los sitios seleccionados.

En cuanto a la variabilidad mensual (ver Anexo A), en general se observa que la altura presenta mayores valores en época invernal, siendo en general los meses de diciembre a febrero los que presentan menor magnitud. El periodo presenta un comportamiento variable dependiendo de la exposición del sitio, por ejemplo, en los sitios IP2 y RC1 los periodos energéticos disminuyen en invierno, mientras que en otros sitios la disminución se acentúa en verano. Con todo, la mediana del periodo energético en todos los casos presenta variaciones del orden de 1 [s]. En cuanto a la dirección, no se aprecian variaciones significativas durante el año, salvo en los valores extremos de los sitios IP2 e IP4, que tienden a ser mayores en invierno.

La potencia es mayor en invierno, con valores relativamente estables entre mayo y septiembre en Isla de Pascua y entre abril y agosto en Isla Robinson Crusoe. Los meses con potencias más bajas en Isla de Pascua corresponden noviembre a febrero, con valores alrededor de la mitad de los observados en invierno. En Isla Robinson Crusoe, los meses de verano también presentan los valores más bajos del año, pero proporcionalmente mayores con respecto a los de invierno.

La confiabilidad de los resultados en función de la información batimétrica disponible se clasifica como mayor, media y menor, dependiendo de la densidad de sondajes en cada sitio. El sitio IP5 posee una confiabilidad mayor ya que la densidad espacial y su cobertura de sondajes en la carta SHOA N°2513 permite considerar que todos los fenómenos físicos asociados a la propagación del oleaje han sido adecuadamente representados. La

confiabilidad en los sitios RC3 y RC4 es media ya que se encuentran justo sobre los transectos batimétricos separados en distancias del orden de un kilómetro, y por tanto los resultados son dependientes de la interpolación efectuada. Los sitios RC1, IP2 e IP4 poseen menor confiabilidad. El primero se ubica entre 3 transectos distanciados a más de 200 [m] de su ubicación, lo que no permite considerar que la profundidad obtenida ni los procesos de propagación del oleaje son independientes de la interpolación. En los sitios IP2 e IP4, la información batimétrica es aún más pobre.

En lo relativo a la cercanía con los centros de consumo, en Isla de Pascua, el sitio IP2 se encuentra a 2 [km] de Hanga Roa. IP4 dista poco más de 3 [km] del extremo este del aeropuerto Mataverí, ya que a Hanga Roa el acceso es más difícil por la presencia del Volcan Rano Kau. El sitio IP5 se encuentra a 2 [km] del aeropuerto. En todos los casos la ruta analizada es por la costa. En Isla Robinson Crusoe, el sitio RC1 se encuentra a poco más de 5 [km] del poblado San Juan Bautista a lo largo de la costa. El sitio RC3 se encuentra a 3 [km] del poblado, sin embargo, dicha distancia cruza una zona de valor ecológico en las cercanías del cerro El Yunque. Rodeando la isla dicha distancia se incrementa a 13 [km]. El sitio RC4 está distante 4 [km] en línea recta del poblado, presentando dificultades similares en cuanto a atravesar zonas de conservación. Rodeando la isla la distancia se incrementa a 9 [km]. En cuanto a la accesibilidad, las costas se presentan acantiladas en los sitios IP4, RC4, RC3 y RC1, aunque en este último hay proximidad a una quebrada que puede dar soporte a instalaciones de respaldo. Los sitios IP2 e IP5 presentan costas con terrazas y áreas en las cuales se pueden considerar instalaciones, aunque en esta última las condiciones son más ventajosas. Respecto a las de la ruta estimada entre la zona de generación y la de consumo, en el caso de Isla de Pascua todos los sitios se presentan favorables para el desarrollo por tierra, mientras que en Robinson Crusoe esta debe desarrollarse preferentemente por vía marítima, especialmente en los sitios RC3 y RC4 dada lo abrupta de su geografía y la distancia.

Puesto que Isla de Pascua tiene patrimonio histórico cultural e Isla Robinson Crusoe patrimonio natural, se requiere de antecedentes precisos respecto a la locación de monumentos o zonas de conservación específicas. Si bien el levantamiento de esta información excede a los alcances de este proyecto, es posible considerar que los sitios IP2 e IP4 se encuentran en la zona donde se desarrollaba el Tangata Manu y donde hay una alta cantidad de petroglifos. El sitio RC1 se encuentra cercano a Puerto Inglés, zona en la que se cree estuvo Alejandro Selkirk, por lo que podrían existir restricciones patrimoniales. No se disponen de antecedentes específicos de los sitios IP5, RC3 y RC4.

Comparativamente, la disponibilidad energética es la variable principal y por ende la más importante. Sin embargo, aspectos como una alta variabilidad direccional o una baja simetría en su incidencia pueden ser factores perjudiciales si el dispositivo de generación es sensible a estos parámetros. Por otro lado, la variabilidad mensual de la disponibilidad de energía será relevante independiente de las características del dispositivo que se considere para la generación. La calidad de la batimetría determina la certidumbre de la disponibilidad energética, por lo que contar con información proveniente de una zona bien representada es muy importante en la elección de un sitio. Las cercanías a los sitios de consumo redundan en los costos asociados a la distribución, y con ello en la viabilidad económica del proyecto. De igual modo, la disponibilidad de áreas de respaldo cercanas, tanto para el proceso constructivo como para las instalaciones permanentes para la distribución energética. Por último, las restricciones de carácter ambiental o de protección patrimonial son relevantes, fundamentalmente porque ambas islas son parques nacionales de interés patrimonial elevado.

Lo anterior se ha resumido en la Tabla 9, proponiendo un esquema de evaluación de los sitios en función de las características que se han analizado, considerando valores de 1 a 5, donde el valor asignado corresponde al nivel de importancia en el caso de las características analizadas, y a que tan favorable es cada sitio con respecto a la característica analizada. La suma de las ponderaciones por sitio permite establecer los sitios con mejores características.

Tabla 9 Propuesta de valoración de sitios según sus características

Características por sitio	Importancia	IP2	IP4	IP5	RC1	RC3	RC4
Disponibilidad energética	5	3	4	3	1	3	5
variabilidad direccional	2	2	1	2	2	5	4
Simetría de la incidencia	1	3	4	3	1	4	5
Variabilidad mensual	3	3	3	3	4	4	4
Información batimétrica	5	1	1	5	2	2	2
Cercanía a sitios de consumo	4	5	4	5	4	1	1
Accesibilidad desde la costa	4	3	1	4	3	1	1
Accesibilidad desde sitios de consumo	4	5	4	5	3	1	1
Zona de importancia patrimonial	5	2	1	3	4	4	4
Recomendación		98	81	127	92	83	92

Los resultados dan cuenta de que el sitio IP5 es el que posee las condiciones más favorables para el desarrollo de un proyecto energético, seguido de IP2. Por el contrario los sitios IP4 y RC3 son los que poseen las condiciones menos favorables. En el caso de RC1 y RC4, se observa una valorización equivalente, siendo ambas las de mayor magnitud en Robinson Crusoe, sin embargo las condiciones de accesibilidad del sitio RC4 son las peores entre las analizadas, por lo que resulta conveniente analizar el sitio RC1 por sobre RC4.

A partir de esto, se recomienda considerar los sitios IP5 en Isla de Pascua y RC1 en Isla Robinson Crusoe como prioritarios para la realización de un análisis de factibilidad técnico económica de una planta de generación eléctrica undimotriz.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación del recurso energético se realizó empleando una metodología que permite la propagación de cada uno de las 696 combinaciones de energía del espectro para los 70128 estados de mar a cada nodo de los dominios espaciales considerados en las islas de Pascua y Robinson Crusoe. Esta propagación se logra con 80 simulaciones en Isla de Pascua y 88 en Isla Robinson Crusoe utilizando el software SWAN. La metodología permite obtener los mapas espaciales de los parámetros de altura significativa, periodo energético, dirección media y potencia de oleaje para cada estado de mar durante 24 años de estadística. Esto se realiza para dominios espaciales de resolución baja, media y alta, con mallas de 300, 100 y 25 [m], respectivamente.

Las zonas con mayor potencial de oleaje se presenta en la costa suroeste de Isla de Pascua, en torno al volcán Rano Kau y en las cercanías de Hanga Hotuiti, esto dado la dirección reinante del oleaje en la zona, que proviene desde el sur suroeste. Por el contrario, en Robinson Crusoe el mayor potencial se presenta en la costa sureste, en el sector de Playa Larga y en el extremo noroeste, esto dado que la presencia de la Isla Santa Clara protege gran parte de la isla del oleaje reinante que proviene del suroeste

A partir de los resultados en los mapas de alta resolución se seleccionaron los 5 sitios que presentan mayor concentración de energía por isla, en los cuales se analizan los valores medios por parámetro y probabilidades de excedencia para profundidades de 25, 30 y 50 [m]. Los sitios denominados IP2, IP3, IP4 y RC2 poseen información batimétrica pobre y por tanto los resultados son de baja confiabilidad. Los sitios RC1, RC3, RC4 y RC5 poseen información batimétrica de mediana calidad, mientras que los sitios IP1 e IP5 son los que presentan mejor información batimétrica, y por ello se estima que sus resultados pueden ser más confiables.

A solicitud de Fundación Chile, se evaluaron los sitios IP2, IP4, IP5, RC1, RC3 y RC4, todos a una profundidad de 30 [m], a partir de lo cual se concluye lo siguiente:

- El sitio IP2, ubicado al oeste del volcán Rano Kau, presenta potencia media de 37.1 [kW/m], dirección media de 237° y alta dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 332.6 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 12.5 [kW/m] y la altura supera los 4.1 [m] el 5% del tiempo.
- El sitio IP4, ubicado al sur del volcán Rano Kau, presenta potencia media de 50.8 [kW/m], dirección media de 187° y alta dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 468.9 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 16.9 [kW/m] y la altura supera los 4.79 [m] el 5% del tiempo.
- El sitio IP5, ubicado en Hanga Vinapu, presenta potencia media de 41.3 [kW/m], dirección media de 173° y media dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 371.2 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 13.5 [kW/m] y la altura supera los 4.28 [m] el 5% del tiempo.
- El sitio RC1, ubicado frente a punta norte, presenta potencia media de 22.8 [kW/m], dirección media de 276° y media dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 193.7 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 9.9 [kW/m] y la altura supera los 3.25 [m] el 5% del tiempo.

- El sitio RC3, ubicado en el sector de Playa Larga, presenta potencia media de 41.2 [kW/m], dirección media de 206° y baja dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 364.3 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 19.9 [kW/m] y la altura supera los 4.15 [m] el 5% del tiempo.
- El sitio RC4, ubicado al sur del islote El Verdugo, presenta potencia media de 54.2 [kW/m], dirección media de 214° y baja dispersión direccional. La disponibilidad energética anual es de 475.5 [MWh/m], mientras que el 80% del tiempo la potencia supera el valor 20.7 [kW/m] y la altura supera los 4.75 [m] el 5% del tiempo.

En cuanto a la variabilidad temporal de los parámetros por sitio, en general las alturas y potencias son mayores en invierno, mientras que en los meses de diciembre a febrero poseen las menores magnitudes. No se observan variabilidades mensuales significativas en el periodo energético y la dirección.

Los sitios que poseen mayor disponibilidad energética son IP4 y RC4, mientras que los sitios RC3 y RC4 son los que poseen mejores características respecto a la dispersión direccional y su simetría. Por otra parte, al sitio IP5 se le atribuye la mayor confiabilidad en los resultados, dada la mejor calidad de la información batimétrica en sus alrededores. En lo relativo a accesibilidad, los sitios IP2 e IP5 se encuentran más cercanos a los centros de consumo, mientras que los sitios IP5, IP2 y RC1 son los que presentan menores dificultades en la costa para el desarrollo de infraestructura de respaldo, dado que los puntos restantes presentan costas acantiladas de grandes proporciones. Finalmente, los sitios IP2, IP4 y RC1 presentan mayor cercanía a sitios de valor patrimonial. Considerando estos criterios, se sugiere priorizar el sitio IP5 en Isla de Pascua y RC1 en Robinson Crusoe para un análisis detallado de la factibilidad técnico económica de una planta de generación eléctrica undimotriz.

Para futuros estudios que requieran mejorar o validar los resultados de éste trabajo se recomienda la realización de una campaña batimétrica de detalle en las inmediaciones de los sitios analizados. Así mismo, se recomienda la medición *in situ* del recurso oleaje tanto en aguas profundas como en sectores de potencial interés de explotación, privilegiando la información espectral y de series de tiempo por sobre la de parámetros de resumen. Con esta información se podrán mejorar las modelaciones de propagación de oleaje y validar los resultados de disponibilidad energética.

En los sitios seleccionados, se sugiere verificar posibles restricciones normativas o legales por la presencia de monumentos o zonas de protección de la flora y fauna, así como también evaluar la percepción social a la instalación de dispositivos de generación, conversión y transmisión de energía eléctrica.

Por último, se recomienda realizar un análisis de la capacidad de extracción de energía en función de la distribución de la potencia disponible, características del oleaje y de los dispositivos factibles de implementar en la zona.

9 REFERENCIAS

Booij, N., R. Ris & L. Holthuijse. 1999. A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104(C4): 7649–7666.

SHOA 2009. Atlas Hidrográfico de la Armada de Chile, 7a Edición. Pub. 3042.

Ris, R., L. Holthuijsen & N. Booij. 1999. A third-generation wave model for coastal regions 1. Verification. *J. Geophys. Res.*, 104(C4): 7667–7681.

Monsalve, E. 2010. Desarrollo e implementación de un modelo de transferencia espectral de oleaje en bahía de Valparaíso, Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Oceánico, Universidad de Valparaíso.