



EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS INSTALACIONES ASOCIADAS A LAS CARRERAS DE CABALLOS, T.M. SANLÚCAR DE BARRAMEDA (CÁDIZ)

PROMOTOR:
SOCIEDAD DE CARRERAS DE CABALLOS DE
SANLÚCAR




CONSULTORA:
Atlántida Medio Ambiente, S.L.



AUTORÍA:

Carmen Tornero Pinilla
Lda. Ciencias Ambientales
Colegiada COAMBA Nº 1299

Amanda Rivillas Vitondo
Lda. Ciencias del Mar

ATLANTIDA MEDIO AMBIENTE SL - -		16/04/2026 14:46	PÁGINA 1/45
VERIFICACIÓN	FjXBIC4XW3HMU7P43MUFDWQNK4V09R	https://ws050.juntadeandalucia.es/verificarFirma/	
			

ÍNDICE

1	OBJETO	7
2	CONDICIONES Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS	8
2.1	CONTEXTO: ESCENARIOS CLIMÁTICOS	8
2.2	INSTRUMENTOS.	11
2.3	HERRAMIENTAS.	12
3	EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS ENTORNOS COSTEROS	14
4	COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL MAR.	16
5	OLEAJE	21
6	VIENTO	25
7	TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA	25
8	RIESGO DE EROSION Y DIAGNÓSTICO INTEGRADO.	29
9	TEMPORALES	36
10	MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	39
10.1	Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española.	39
10.2	Estrategia de protección de la costa de Cádiz, considerando los efectos del cambio climático.	42
11	CONCLUSIONES	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Forzamiento radiativo de las vías de concentración representativas. El área gris claro captura el 98% del rango en escenarios IAM anteriores, y el gris oscuro representa el 90% del rango. Fuente: Web IPCC. De van Vuuren et al (2011) *The Representative Concentration Pathways: An Overview*. Cambio climático, 109 (1-2), 5-31. 9

Figura 2. Promedios preliminares de CO2 atmosférico semanales (línea roja), mensuales (línea azul) y diarios (puntos negros) en Mauna Loa para el último año. Fuente: Global Monitoring Laboratory (GML) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 10

Figura 3. Sendas representativas de emisiones según AR6. Fuente: Resumen para los formuladores de políticas. Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física. Contribución GTI al Sexto Informe IPCC. 11

Figura 4. Impactos regionales observados que se derivan de cambios en los océanos y la criosfera. Fuente: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante, IPCC, 2019. 16

Figura 5. Ubicación del punto de toma de datos (flecha) y de la ubicación de la playa de Las Piletas (círculo). Fuente: C3E. 17

Figura 6. Proyecciones de los rangos probables de aumento del GMSL del siglo XXI según las trayectorias climáticas que conducen a diferentes aumentos de la GSAT entre 1850-1900 y 2081-2100. También se incluyen las trayectorias de GSAT para las que las proyecciones del nivel de temperatura se ajustan mejor. Adaptado del (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático 2023). Fuente: INFORME CLIVAR-SPAIN SOBRE EL CLIMA EN ESPAÑA. MITECO, 2024. 20

Figura 6. Imagen del visor Climate Central, centrada en el entorno de las instalaciones asociadas a las carreras de caballos. Disponible en https://coastal.climatecentral.org/map/15/-3622/36.7783/?theme=sea_level_rise&map_type=coastal_dem_comparison&basemap=hybrid&contiguous=true&elevation_model=best_available&forecast_year=2050&pathway=ssp3rcp70&percentile=p50&refresh=false&return_level=return_level_1&rl_model=gtsr&slr_model=ipcc_2021_med 21

Figura 7. Valores medios (izquierda) y percentil del 99% de la altura de ola significativa (m) (derecha), obtenidos a partir de las variables atmosféricas procedentes del reanálisis ERAS (1985-2005). Fuente: Estrategia española para la adaptación de la costa al cambio climático. 22

Figura 8. Cambios en el valor medio de la altura de ola significativa (Hs) para los dos escenarios y periodos analizados. Los cambios se han representado en tanto por cien respecto a los valores medios de la base de datos histórica de referencia. Los puntos indican una

coincidencia en el signo del cambio en, al menos, el 80% de los modelos climáticos analizados.

Fuente: Estrategia española para la adaptación de la costa al cambio climático. 23

Figura 9. Oleaje en la UC-CA2. Fuente: Estrategias para la protección costera en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. Anejo 1. Caracterización del clima marítimo. 2019. 24

Figura 11. Cambio medio proyectado del conjunto CMIP6 (2070-2099 en relación con 1985-2014) bajo el escenario SSP5-8.5 de temperatura (izquierda) y salinidad (derecha) para diferentes capas: superficie (arriba), 100 m (centro) y 500 m (abajo). Las zonas punteadas indican las áreas donde la dispersión del conjunto es mayor que el cambio proyectado. Datos obtenidos del portal web sobre cambio climático de la NOAA (<https://psl.noaa.gov/ipcc/cmip6>). 27

Figura 12. Temperatura superficial del mar entre los 60°N-60°S, desde 1979 hasta la actualidad. En azul se aprecia la última anomalía debida al Niño, en 2016. Disponible en https://sites.ecmwf.int/data/c3sci/bulletin/202405/press_release/ 28

Figura 13. Flujos superficiales actuales (líneas continuas) y los flujos profundos (líneas discontinuas) para el Atlántico norte y los mares nórdicos. Figure modified from R. Curry and C. Mauritzen © Woods Hole Oceanographic Institution. Disponible en: <https://tos.org/oceanography/article/is-the-atlantic-overturning-circulation-approaching-a-tipping-point> 29

Figura 11. UG-CA 2 y ubicación de las instalaciones asociadas a las carreras de caballos señalada con una estrella. Estrategia para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. Anejo 1. Modelo morfodinámico de funcionamiento. MITERD 2020. 30

Figura 12. Valoración de la peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo de las ocupaciones del DPMT en CA2 y E0. Fuente: Anejo 2. Resultados del análisis del riesgo en Cádiz, EPC, MITECO 2021. 32

Figura 13. Diagnóstico integrado UCA3. Fuente: Anejo 1. Diagnóstico integrado en las Unidades de Gestión de Cádiz. 35

Figura 14. Indicadores de los criterios de selección y priorización de medidas. Fuente: Selección y priorización de medidas para la protección de la costa. Anejo 1. Resultados en las Unidades de Gestión de Cádiz. Estrategia de protección costera. 2022. 36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ítems descriptivos de los RCP. Fuente: Resumen para responsables de políticas del documento Bases Físicas del Cambio Climático 2013. Contribución del GT I al 5º Informe del IPCC.	9
Tabla 2. Diferencias relativas de temperatura superficial global promedio respecto del período 1850-1900 en los distintos escenarios del AR6. Fuente: Resumen para los formuladores de políticas. Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física. Contribución GTI al Sexto Informe IPCC.....	10
Tabla 3. MSL Incremento nivel medio del mar (m) respecto de 1986 - 2005. Fuente: C3E... 17	
Tabla 4. MM 99.9%. Cambios en la marea meteorológica, con margen de confianza 99% respecto de 1985-2005 (m). Fuente: C3E.....	18
Tabla 5. Cambios en el valor medio del nivel del mar compuesto respecto de 1985-2005 (m). Fuente: C3E.	18
Tabla 6. Nivel medio del mar global respecto de 1986 - 2005 para finales de siglo. Fuente: Informe especial sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante. IPCC 2019.	19
Tabla 7. Subidas del nivel del mar pronosticadas para finales de siglo según diferentes modelos. Fuente: Evaluación del riesgo de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel del mar en la costa Andaluza. Universidad de Sevilla. 2017.	20
Tabla 8. Altura de ola significativa (Hs 99.9%). Fuente: C3E.	23
Tabla 9. Periodo pico medio (Tm en segundos) y Periodo pico al 99.9% (Tp_99 en segundos). Fuente: C3E.....	24
Tabla 11. Incremento de temperatura superficial (°C). Fuente: C3E	25
Tabla 12. Tasa de erosión de las unidades de gestión correspondientes a UC-CA2. Fuente: Estrategia de protección costera. MITECO. 2021.	31
Tabla 13. Retroceso adicional de las playas de UC2 según escenario y periodo. Fuente: Estrategia de protección costera. 2021.....	31
Tabla 14. Retroceso neto en la UC2 según escenario, en los años horizonte. Fuente: Estrategia de protección costera. 2021.	31
Tabla 15. Escenarios climáticos definidos por la estrategia de protección costera. Fuente: Diagnóstico 1. Análisis del riesgo de erosión, EPC, MITECO 2021.	32
Tabla 16. Peligrosidad crónica y asociada al oleaje que alcanza el frente costero, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.....	33

Tabla 17. Exposición de las ocupaciones en DPMT, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.	33
Tabla 18. Riesgo de las ocupaciones en DPMT, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.	33
Tabla 19. Temperaturas máximas en RCP 8.5 por estaciones en el corto, medio y largo plazo. Fuente: Adaptecca.	38
Tabla 20. Medidas de adaptación emanadas de la Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española recomendadas para las instalaciones asociadas a las carreras de caballos (Sanlúcar de Barrameda).	41
Tabla 21. Grado de riesgo de erosión e inundación para la CA2. Fuente: Catálogo de medidas para la protección de la costa. Estrategias para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. 2021.	43
Tabla 22. Medidas de adaptación propuestas para la CA2. Fuente: Catálogo de medidas para la protección de la costa. Estrategias para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático.	43

1 OBJETO

Se redacta este estudio por encargo de la Sociedad de Carreras de Caballos de Sanlúcar de Barrameda, con C.I.F. G-11.053.055 y domicilio en Avenida de las Piletas, s/n de la Ciudad de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), cuya intención es instalar una serie de infraestructuras soterradas en la zona de Las Piletas, donde se acota provisionalmente un recinto para la celebración anual de las carreras de caballos anualmente, durante el mes de agosto.

El objeto del presente estudio es dar cumplimiento a lo que se establece en los artículos 91.2 y 92 del mencionado Reglamento:

Art.91.2. Deberán prever la adaptación de las obras al entorno en que se encuentren situadas y, en su caso, la influencia de la obra sobre la costa y los posibles efectos de regresión de ésta (artículo 44.2 de la Ley 22/1988, de 28 de julio).

Artículo 92. Contenido de la evaluación de los efectos del cambio climático.

1. La evaluación de los efectos del cambio climático incluirá la consideración de la subida del nivel medio del mar, la modificación de las direcciones de oleaje, los incrementos de altura de ola, la modificación de la duración de temporales y en general todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona, en los siguientes periodos de tiempo:

- a) En caso de proyectos cuya finalidad sea la obtención de una concesión, el plazo de solicitud de la concesión, incluidas las posibles prórrogas.
- b) En caso de obras de protección del litoral, puertos y similares, un mínimo de 50 años desde la fecha de solicitud.

2. Se deberán considerar las medidas de adaptación que se definan en la estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, establecida en la disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo.

Por lo tanto, el presente estudio pretende evaluar los efectos del cambio climático sobre los terrenos donde se desarrollan las carreras de caballos en la playa de las Piletas (Sanlúcar de Barrameda) y, en general, todas aquellas modificaciones de las dinámicas costeras actuantes en la zona por razón de cambio climático. Y lo hace en todo el periodo en que es posible proyectar (2100). Según las variables, se recogen también proyecciones a corto y medio plazo para su valoración.

Se aportan, del mismo modo, las conclusiones sobre el riesgo de erosión emanadas de la *Estrategia para la protección de la costa de la provincia de Cádiz (...)*, considerando los efectos del cambio climático¹, para la denominada UC-CA2 Puerto de Bonanza-Puerto de Chipiona, que integra la playa de Las Piletas.

Por último, se recogen las medidas de adaptación definidas en la *Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático*², establecida en la disposición adicional octava de la Ley 2/2013, de 29 de mayo, así como las planteadas en la mencionada Estrategia para la protección de la costa gaditana, en la UC-CA2.

2 CONDICIONES Y HERRAMIENTAS DE ANÁLISIS

2.1 CONTEXTO: ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Las proyecciones actuales sobre aumento del nivel del mar, oleaje, temperatura superficial del agua, viento y cualesquiera otras variables climáticas, emanan del Quinto informe del IPCC (2014). Este informe planteaba 4 sendas de emisión o RCP, por sus siglas en inglés, que iban desde la más optimista (RCP 2.6) hasta la más pesimista (RCP 8.5). La primera representaba un futuro con bajas emisiones de gases de efecto invernadero y un alto nivel de mitigación que, en las simulaciones de 2019³, proporcionaban una probabilidad de dos sobre tres de que el calentamiento global se mantuviera por debajo de 2 °C en 2100. Este escenario está descartado toda vez que, en 2021, se han sobrepasado las concentraciones de GEI en la atmósfera que lo hacían posible⁴. La segunda senda mencionada, RCP 8.5, es un escenario con altas emisiones de gases de efecto invernadero, sin políticas destinadas a luchar contra el cambio climático, que conduce a un crecimiento constante y sostenido de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero. Es, aparentemente,

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/00-epc-andalucia.aspx>

² <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategia-adaptacion-cambio-climatico/default.aspx>

³ Según *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP5), es decir, la mejor ciencia disponible en ese momento. Actualmente se cuenta con una nueva actualización: CMIP6.

⁴ <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/weekly.html>

en la que nos situamos cuando, pese a los esfuerzos internacionales, las emisiones no frenan ni lo harán a la velocidad necesaria de continuar con las políticas actuales⁵.

Si bien es posible un cambio, en aplicación del principio de precaución, este estudio se referirán siempre al escenario 8.5 o en el que peor tendencia dibuje en cada momento⁶ (en alusión al escenario de Jevrejeva⁷, cuando se analice la subida del nivel del mar).

RCP	Forzamiento radiativo (W/m ²)	[CO ₂] (ppt)	[CO ₂] equivalente combinadas* (ppt)
2,6	2,6	421	475
4,5	4,5	538	630
6,0	6,0	670	800
8,5	8,5	936	1313
*[CO ₂], [CH ₄] y [N ₂ O]			

Tabla 1. Ítems descriptivos de los RCP. Fuente: Resumen para responsables de políticas del documento Bases Físicas del Cambio Climático 2013. Contribución del GT I al 5º Informe del IPCC.

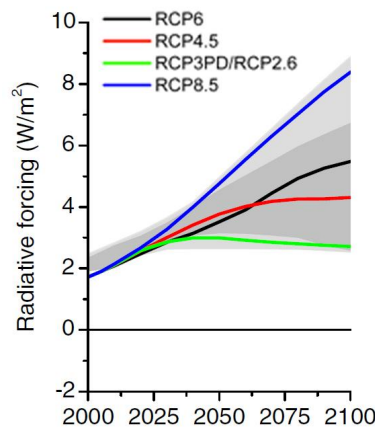


Figura 1. Forzamiento radiativo de las vías de concentración representativas. El área gris claro captura el 98% del rango en escenarios IAM anteriores, y el gris oscuro representa el 90% del rango. Fuente: Web

⁵ United Nations Environment Programme (2021). Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On – A World of Climate Promises Not Yet Delivered. Nairobi. <https://www.unep.org/es/resources/emissions-gap-report-2021>

⁶ Los usos y límites adecuados de los RCP se detallan con los datos de publicación de RCP en el sitio web <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tnt/RcpDb>

⁷ <https://www.psmsl.org/products/reconstructions/jevrejevaetal2008.php>

IPCC. De van Vuuren et al (2011) *The Representative Concentration Pathways: An Overview*. Cambio climático, 109 (1-2), 5-31.

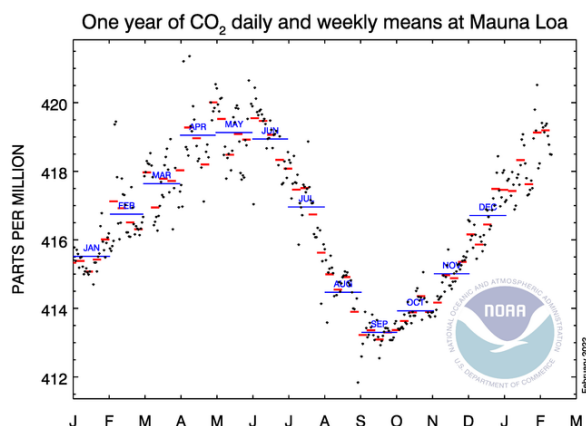


Figura 2. Promedios preliminares de CO₂ atmosférico semanales (línea roja), mensuales (línea azul) y diarios (puntos negros) en Mauna Loa para el último año. Fuente: Global Monitoring Laboratory (GML) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Cabe tener en cuenta, así mismo, que inmerso en su sexto ciclo de evaluación, en 2019 el IPCC publicaba un *Informe especial sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante* (entre otros) y en abril de 2021 presentaba la primera parte de su 6º informe (AR6), correspondiente al Grupo de Trabajo 1 sobre las bases de la ciencia física, que vuelve a actualizar los posibles escenarios. Todos los que nos mantienen por debajo de los 2°C de incremento en el medio plazo, pasan por un descenso inmediato de las emisiones.

	CORTO PLAZO 2021-2040		MEDIO PLAZO 2041-2060		LARGO PLAZO 2081-2100	
	Mejor estimado (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimado (°C)	Rango muy probable (°C)	Mejor estimado (°C)	Rango muy probable (°C)
SSP1_1.9	1.5	1.2-1.7	1.6	1.2 - 2.0	1.4	1.0 - 1.8
SSP1_2.6	1.5	1.2-1.8	1.7	1.3- 2.2	1.8	1.3 - 2.4
SSP2_4.5	1.5	1.2-1.8	2	1.6-2.5	2.7	2.1-3.5
SSP3_7.0	1.5	1.2-1.8	2.1	1.7-2.6	3.6	2.8-4.6
SSP5_8.5	1.6	1.3-1.9	2.4	1.9-3	4.4	3.3-5.7

Tabla 2. Diferencias relativas de temperatura superficial global promedio respecto del periodo 1850-1900 en los distintos escenarios del AR6. Fuente: Resumen para los formuladores de políticas. Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física. Contribución GTI al Sexto Informe IPCC.

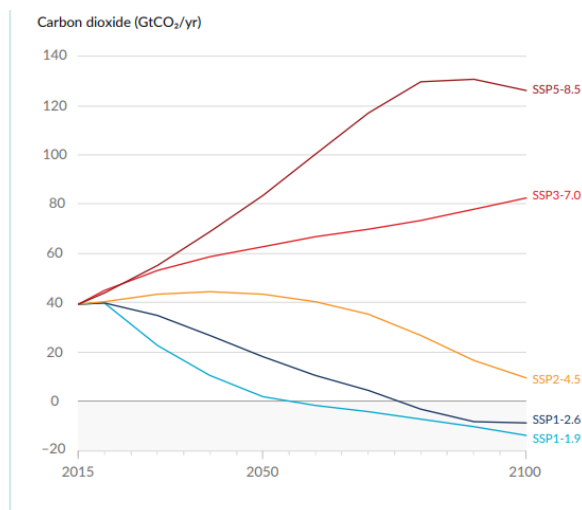


Figura 3. Sendas representativas de emisiones según AR6. Fuente: Resumen para los formuladores de políticas. Cambio Climático 2021: La Base de la Ciencia Física. Contribución GTI al Sexto Informe IPCC ⁸

Cada vez que se actualizan los datos nos encontramos en el peor de los escenarios y, de no cambiar las políticas actuales y tomarse las decisiones adecuadas a tiempo, con toda probabilidad, las proyecciones recogidas en este estudio resultarán también demasiado optimistas.

No se cuenta aún con proyecciones regionalizadas de los estudios del 6º ciclo del IPCC para la dimensión costera, pero sí arrojan luz sobre un hecho irrefutable: la subida del nivel del mar ha sido infravalorada en los anteriores informes debido, al menos, a posibles errores en el modelado del fenómeno de deshielo⁹.

2.2 INSTRUMENTOS.

Para el desarrollo de este estudio se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

⁸ IPCC, 2021: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

⁹ IPCC, 2019: "Resumen para responsables de políticas", en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds.)].

- Sucesivos informes del IPCC, especialmente los informes del GT1 sobre las bases científicas del cambio climático de los informes quinto (2013) y sexto (2021), así como el informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante (2019).
- Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española. MITECO 2016.
- Estrategia para la protección de la costa de la provincia de Cádiz, Málaga y Almería, considerando los efectos del cambio climático. En aprobación en este momento (febrero 2022).
- Evaluación del riesgo de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel del mar en la costa Andaluza, realizado en 2017 por el Departamento de Geografía Física y AGR de la Universidad de Sevilla.
- Informe CLIVAR-SPAIN sobre el clima en España. MITECO. Edición 2024.

2.3 HERRAMIENTAS.

Para este estudio en particular se utilizan los visores de la AdapteCCa, C3E y Climate Central. Los datos obtenidos de ellos se contrastan con los estudios e informes más actualizados disponibles, a fin de aproximar e interpretar adecuadamente los mismos.

El visor de AdapteCCA:

La plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático de la Oficina Española de Cambio Climático, AdapteCCa, es una herramienta al servicio de todos aquellos expertos, organizaciones, instituciones y agentes interesados en acceder e intercambiar información, conocimientos y experiencias sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, así como un instrumento para potenciar la comunicación entre todos ellos.

Esta plataforma integra el “visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa”¹⁰, actualizado en junio de 2024, que permite consultar las proyecciones regionalizadas de cambio climático para España realizadas a partir de las proyecciones globales del Sexto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático).

¹⁰ <http://escenarios.adaptecca.es>

Esta iniciativa integra los resultados de distintos proyectos internacionales de regionalización dinámica y estadística como Euro-CORDEX¹¹ y VALUE, con las proyecciones nacionales desarrolladas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y por el Grupo de Meteorología de Santander (CSIC - Universidad de Cantabria). Tras su última actualización, proporciona los valores ajustados a una rejilla de mayor resolución (5km), empleando la nueva rejilla observacional, ROCIO_IBEB, desarrollada en AEMET. Así mismo, se ha ampliado el número de modelos de EUROCORDEX (anidados a las proyecciones globales de CMIP5) incluyendo en la nueva versión el conjunto completo utilizado en el último informe del IPCC-AR6 para el análisis regional de cambio climático.

Las variables disponibles de interés en el presente estudio son:

- Temperatura máxima.

El visor C3E.

En el marco del proyecto “Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático en la costa española”, perteneciente al Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático en España (PIMA Adapta), financiado por el MITECO, se han desarrollado proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas necesarias para el estudio de impactos costeros a lo largo de toda la costa española.

Las variables disponibles son:

- Nivel del mar asociado a la marea meteorológica.
- Aumento del nivel medio del mar.
- Aumento del nivel del mar compuesto.
- Oleaje (altura, periodo y dirección).
- Temperatura superficial del mar.

¹¹ CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) es un esfuerzo internacional coordinado por el Grupo de Trabajo sobre Clima Regional (GTCR) del Programa Mundial de Investigación del Clima para proporcionar un diseño homogéneo de la salida del modelo climático regional para los usuarios.

Los datos generados proporcionan información sobre los cambios esperados para los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5 hasta fin del siglo XXI y una serie de parámetros de estas variables y climatologías¹².

El visor del Climate Central.

Es una herramienta de detección de riesgo costeros avalada por instituciones como la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) o la Agencia de Protección Ambiental de EEUU (EPA).

Este visor aporta proyecciones realizadas sobre los datos del informe especial del IPCC sobre los mares y la criosfera y representan una elevación que triplica las estimaciones de la vulnerabilidad global al aumento del nivel del mar y las inundaciones costeras anteriores. Las proyecciones se basan en el último modelo digital de elevación disponible (CoastalDEM) que utiliza redes neuronales para reducir el error SRTM¹³ de la NGA y la NASA. Muestra que 190 millones de personas (150-250 M, IC 90%) ocupan actualmente tierras por debajo de las líneas de marea alta proyectadas para 2100 en un escenario de bajo bajas emisiones de carbono. Estas cifras triplican los valores basados en SRTM. Bajo un escenario de altas emisiones esa cifra aumenta hasta los 630 millones de personas para 2100, y hasta 340 M para mediados de siglo¹⁴.

3 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS ENTORNOS COSTEROS

Según el ya mencionado informe especial sobre los océanos y la criosfera, es *prácticamente seguro que los océanos hayan sufrido un aumento de la temperatura*

¹² <http://www.c3e.ihcantabria.com/>

¹³ STMR es el acrónimo de la *Shuttle Radar Topography Mission*, proyecto internacional entre la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial, NGA, y la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, NASA para obtener un modelo de elevación digital (DEM) hasta ahora el más utilizado para evaluar las exposiciones de la población mundial y nacional a niveles extremos de agua costera.

¹⁴ Kulp, S.A., Strauss, B.H. Los nuevos datos de elevación triplican las estimaciones de la vulnerabilidad global al aumento del nivel del mar y las inundaciones costeras. Nat Commun 10, 4844 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12808-z>

sin interrupción desde 1970 y hayan absorbido más del 90% del exceso de calor en el sistema climático. Desde 1993, el nivel de calentamiento de los océanos se ha duplicado con creces. Es muy probable que la frecuencia de las olas de calor marinas se haya duplicado desde 1982 y que su intensidad vaya en aumento. Al absorber más CO₂, los océanos han sufrido una mayor acidificación en la superficie. Se ha producido una pérdida de oxígeno desde la superficie hasta los 1.000 m.

En los últimos decenios, el calentamiento global ha provocado una gran reducción de la extensión de la criosfera y un aumento de la temperatura del permafrost.

El nivel medio del mar a escala mundial está aumentando, y la aceleración observada en los últimos decenios obedece al ritmo cada vez más rápido de la pérdida de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida, así como a la pérdida constante de masa de los glaciares y la expansión térmica del océano. Los aumentos de los vientos y las precipitaciones de los ciclones tropicales, así como los incrementos de las olas extremas, combinados con el aumento del nivel del mar relativo agravan los fenómenos relacionados con el nivel del mar extremo y los peligros costeros.

Durante el siglo XXI, se prevé una transición del océano a condiciones sin precedentes, con un aumento de las temperaturas (prácticamente seguro), una intensificación de la estratificación de la capa superior del océano (muy probable), un incremento de la acidificación (prácticamente seguro), una disminución del oxígeno (nivel de confianza medio) y una alteración de la producción primaria neta (nivel de confianza bajo) (...). De acuerdo con las proyecciones, se debilitará la circulación meridional de retorno del Atlántico.

Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante, IPCC, 2019.

Las últimas actualizaciones disponibles sobre la ciencia física del IPCC en las que se basa el Informe CLIVAR-SPAIN 2024, apuntalan y aumentan el nivel de confianza sobre la ocurrencia de todos los sucesos descritos en el Informe especial sobre los océanos y la criosfera.

Considerando que en las zonas costeras bajas actualmente residen alrededor de 680 millones de personas (casi el 10% de la población mundial de 2010), y se prevé que

esta cifra se eleve a más de 1.000 millones en 2050¹⁵, es un grave problema que no dejará indiferentes tampoco a las regiones de interior. Obviamente, todos estos cambios también afectaran a los ecosistemas, los seres vivos y los numerosos y necesarios servicios que obtenemos de ellos.

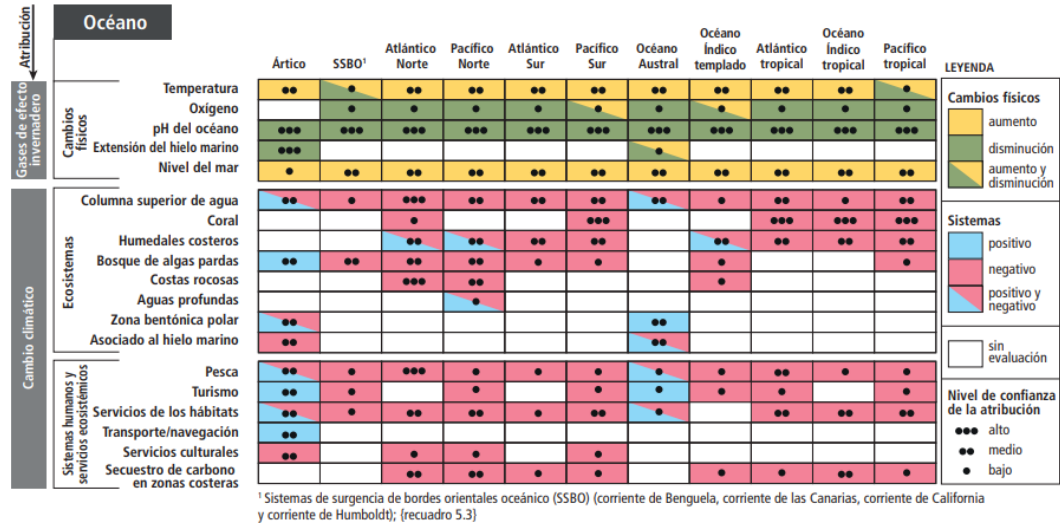


Figura 4. Impactos regionales observados que se derivan de cambios en los océanos y la criosfera. Fuente: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante, IPCC, 2019.

4 COMPORTAMIENTO DEL NIVEL DEL MAR.

La subida del nivel del mar es una de las consecuencias del cambio climático sobre la que existe mayor grado de consenso.

Desde principio del siglo XX el nivel del mar ha subido de manera global unos 20 cm, lo cual supone una subida de 1,2 - 1,8 mm / año desde principios del siglo XX al presente (Church y White, 2006; Church et al., 2013).

Evaluación del riesgo de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel del mar en la costa Andaluza. 2017. Universidad de Sevilla

¹⁵ IPCC, 2019: "Resumen para responsables de políticas", en: Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC [H. O. Pörtner, D. C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. M. Weyer (eds.)].

Para analizar la situación en el entorno estudiado, se extrae del visor C3E la información relativa a los siguientes parámetros para el punto más cercano disponible (ver figura 5):

- Nivel medio del mar (MSL),
- Marea meteorológica (MM),
- Nivel del mar compuesto (NMC).

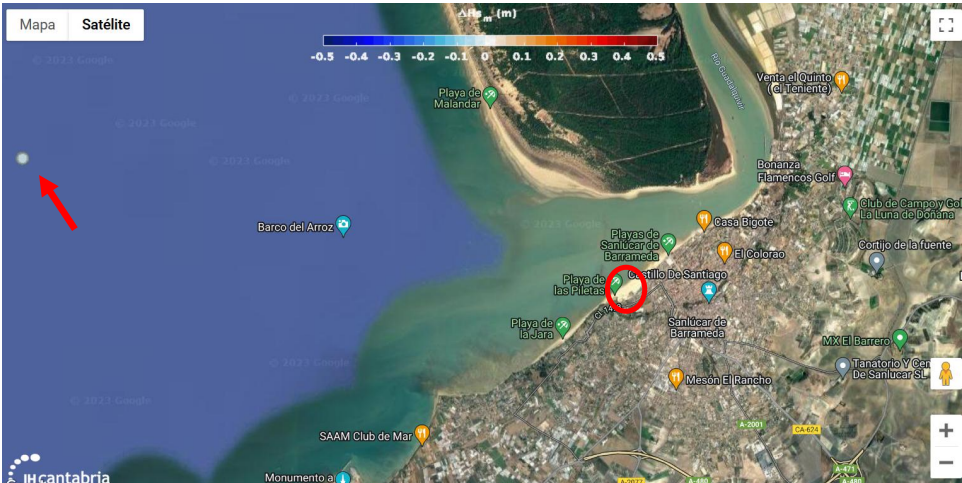


Figura 5. Ubicación del punto de toma de datos (flecha) y de la ubicación de la playa de Las Piletas (círculo). Fuente: C3E.

Se observa un aumento del nivel medio del mar para cualquiera de los escenarios desde el corto plazo. Los datos coinciden en todos los puntos próximos a costa.

ESCENARIO	2026-2045	2081-2100
8.5	0,1532	0,5635
4.5	0,1454	0,1532

Tabla 3. MSL Incremento nivel medio del mar (m) respecto de 1986 – 2005. Fuente: C3E.

Se observa un aumento del nivel medio del mar desde el corto plazo.

Respecto de la **marea meteorológica**, la Estrategia española para la adaptación costera al cambio climático afirma que existe bastante discordancia entre los distintos modelos climáticos en el futuro. No obstante, y en general, se prevé una disminución en toda la costa española (salvo Canarias, donde tiende a aumentar hasta en un 10%). El visor arroja para Sanlúcar de Barrameda datos coherentes con esta afirmación:

ESCENARIO	2026-2045	2081-2100
8.5	-0,0167	-0,0165
4.5	-0,0147	-0,0090

Tabla 4. MM 99.9%. Cambios en la marea meteorológica, con margen de confianza 99% respecto de 1985-2005 (m). Fuente: C3E.

A partir de las proyecciones climáticas del nivel medio del mar (MSL) y marea meteorológica (MM), se obtiene el nivel del mar total en ausencia de oleaje (es decir, sin tener en cuenta el *run-up*¹⁶) pero teniendo en cuenta el efecto de la marea astronómica. Para ello, se ha reconstruido la serie temporal a lo largo del siglo XXI de la marea (asociada a las fuerzas gravitacionales del Sol y la Luna). La variable de nivel del mar compuesto (NMC) se ha calculado como la suma de la marea astronómica, la marea meteorológica y las variaciones del nivel medio del mar. Tras dichos cálculos, el visor aporta los siguientes datos:

VARIABLE	ESCENARIO	2026-2045	2081-2100
NMCm	8.5	0.1499	0.5596
	4.5	0.1418	0.4102

Tabla 5. Cambios en el valor medio del nivel del mar compuesto respecto de 1985-2005 (m). Fuente: C3E.

Es decir, se prevé un aumento de aproximadamente medio metro, según el escenario de emisiones en el largo plazo.

Según la Estrategia Española de Adaptación Costera al cambio climático, el aumento del nivel del mar ha sido especialmente notable desde el año 1993 en toda la costa atlántica.

Por otro lado, el propio IPCC prevé que el aumento relativo del nivel del mar a fines de siglo sea más rápido en todos los escenarios, incluidos los compatibles con el logro de la meta de temperatura a largo plazo establecida en el Acuerdo de París. Y, aunque el aumento del nivel del mar no es globalmente uniforme y varía regionalmente debido a la expansión térmica, la dinámica oceánica y las contribuciones de pérdida de hielo terrestre, se aprecia a nivel global una clara tendencia al alza de los datos a medida que estos se van actualizando.

El informe especial sobre mares y criosfera recoge que “en un escenario de emisiones altas (RCP 8,5), las proyecciones del aumento del nivel del mar a escala mundial para 2100 son superiores a las indicadas en el Quinto Informe de Evaluación, debido a la mayor contribución del manto de hielo de la Antártida. En los próximos siglos, en la RCP 8,5, se prevé que el aumento del nivel del mar superará tasas de varios

¹⁶ *Run-up* o remonte: Ascenso de la lámina de agua sobre el talud de la costa asociado a los procesos de rotura del oleaje.

centímetros por año y se traducirá en un aumento de varios metros (...)"¹⁷. Y arroja los siguientes datos:

VARIABLE	RCP 2.6	RCP 8.5
NMC	0.43 m	0.84 m

Tabla 6. Nivel medio del mar global respecto de 1986 - 2005 para finales de siglo. Fuente: Informe especial sobre el océano y la criosfera en un clima cambiante. IPCC 2019.

Este informe prevé que *la pérdida de masa de los glaciares, el deshielo del permafrost y la disminución del manto de hielo a escala mundial, así como la disminución de la extensión del hielo marino del Ártico continúe en el corto plazo (2031-2050) debido a los aumentos de la temperatura del aire en superficie, con consecuencias inevitables para la escorrentía de aguas fluviales y los peligros locales. Asimismo, que los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida sufrirán pérdidas de masa a un ritmo creciente durante el siglo XXI y posteriormente. De acuerdo con las proyecciones, las tasas y magnitudes de estos cambios criosféricos se incrementarán aún más en la segunda mitad del siglo XXI en un escenario de altas emisiones de gases de efecto invernadero. Todo ello con un nivel de confianza alto.*

El estudio *Evaluación del riesgo de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel del mar en la costa Andaluza*, realizado en 2017 por el Departamento de Geografía Física y AGR de la Universidad de Sevilla, recoge; *Pese al consenso sobre la relación entre la subida del nivel del mar y el cambio climático, constatarlo dentro de unos márgenes fiables depende tanto de la calidad de los Modelos de Circulación Global (MCG) desarrollados, como de los escenarios climáticos definidos que asumen una serie de supuestos sobre el futuro de nuestras sociedades. En cualquier caso, todos los modelos y escenarios climáticos coinciden en que el fenómeno se agravará durante el siglo XXI. Hasta el momento, las predicciones oscilan entre modelos más conservadores, derivados del Quinto informe del IPCC (AR5) de 2013 (Church y White, 2006; Gregory, 2013) y otros más pesimistas (Rahmstorf, 2007; Jevrejeva et al., 2008; Pfeffer, et al., 2008), en adelante, modelo Jevrejeva. Los pronósticos realizados a partir de la constatación de estas diferencias implican ascensos de entre 1 y 2 metros a finales siglo XXI, independientemente del escenario elegido.*

¹⁷ IPCC, 2019, Informe océanos y criosfera {Recuadro general 5 del capítulo 1; recuadro general 8 del capítulo 3; 4.1; 4.2; 5.2.2, 6.3.1; figuras RRP.1, RRP.4, RRP.5}.

Este estudio propone una nueva proyección para el nivel del mar, si bien solo a largo plazo (2100), donde los datos son más acordes a los propuestos por el último informe del IPCC:

VARIABLE	RCP 4.5	RCP 8.5	Jevrejeva
NMCm	0.53	0.74	0.84

Tabla 7. Subidas del nivel del mar pronosticadas para finales de siglo según diferentes modelos. Fuente: Evaluación del riesgo de inundaciones marinas asociadas a la subida del nivel del mar en la costa Andaluza. Universidad de Sevilla. 2017.

En su última actualización (Informe de síntesis, AR6, 2023), el IPCC afirma que, si el calentamiento global alcanza entre 2 °C y 3 °C de media, efectivamente las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida occidental podrían derretirse casi por completo y de manera irreversible durante miles de años, lo que provocaría un aumento **de varios metros** del nivel del mar en el muy largo plazo (más de 3 m para 2300 en el escenario de emisiones muy altas SSP5-8.5). Además, un debilitamiento o incluso un colapso del AMOC provocaría, a través del equilibrio geostrófico, un aumento dinámico del nivel del mar en el océano Atlántico, con una subida de hasta 40-50 cm alrededor de la Península Ibérica y el Mediterráneo (van Westen et al., 2024).

Incremento temperatura	1,5°C	2°C	3°C	4°C	5°C
Escenario SSP	2.6	2.6-4.5	4.5-7	7	8.5
Total 2050	0,16-0,24m	0,17-0,26m	0,18-0,27m	0,19-0,28m	0,22-0,31m
Total 2100	0,34-0,59m	0,40-0,69m	0,50-0,81m	0,58-0,92m	0,69-1,05m
Tasa 2040-2060	2,9-5,7 mm/año	3,7-7mm/año	4,6-8,1mm/año	5-8,6mm/año	5,7-9,8mm/año
Tasa 2080-2100	2,6-6,4 mm/año	3,4-8,4 mm/año	5,3-11,6 mm/año	7,1-14,3 mm/año	8,5-17 mm/año

Figura 6. Proyecciones de los rangos probables de aumento del GMSL del siglo XXI según las trayectorias climáticas que conducen a diferentes aumentos de la GSAT entre 1850-1900 y 2081-2100. También se incluyen las trayectorias de GSAT para las que las proyecciones del nivel de temperatura se ajustan mejor. Adaptado del (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático 2023). Fuente: INFORME CLIVAR-SPAIN SOBRE EL CLIMA EN ESPAÑA. MITECO, 2024.

Pero la inundación de la costa no solo es provocada por el ascenso del nivel del mar sino también por eventos meteorológicos extremos. Además de la interacción entre los elementos (oleaje, viento, batimetría, nivel de marea...) el fenómeno de la inundación presenta la complicación añadida de que algunos de los factores (marea meteorológica, oleaje, viento...) son variables aleatorias y, por tanto, su ocurrencia está sujeta a una determinada probabilidad.

Así, cada evento de inundación tendrá una probabilidad de ser sobrepasado y, por lo tanto, la obtención de las máximas inundaciones, para cada perfil batimétrico, serán función del periodo de retorno o el tiempo medio en años que tardan en repetirse dichos eventos extremos.

En todo caso, cuanto mayor sea el nivel compuesto del mar, menor será el periodo de retorno de los temporales (es decir, ocurrirán con más frecuencia), mayor será la erosión de la costa y mayores los previsible impactos asociados, como se verá en los siguientes apartados.

El *Climate Central* ofrece la siguiente proyección sobre inundación a 2050, bajo una trayectoria de emisiones similar a la actual (SSP3-7.0, AR6):

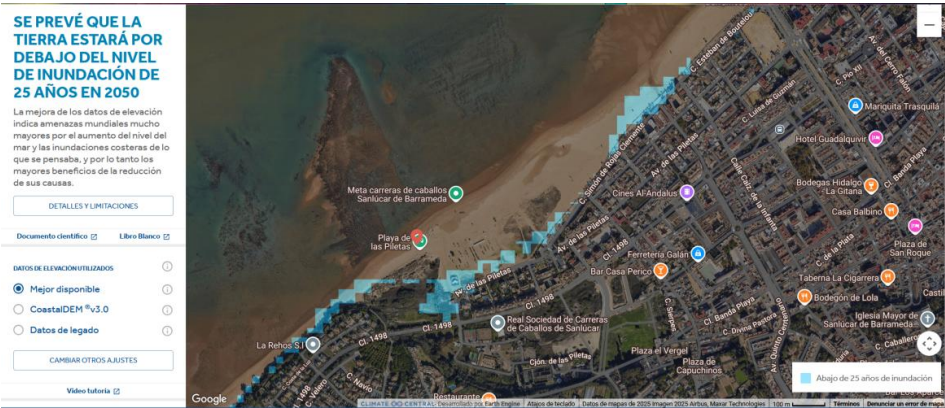


Figura 7. Imagen del visor Climate Central, centrada en el entorno de las instalaciones asociadas a las carreras de caballos. Disponible en https://coastal.climatecentral.org/map/15/-3622/36.7783/?theme=sea_level_rise&map_type=coastal_dem_comparison&basemap=hybrid&contiguous=true&elevation_model=best_available&forecast_year=2050&pathway=ssp3rcp70&percentile=p50&refresh=false&return_level=return_level_1&rl_model=gtsr&slr_model=ipcc_2021_med

5 OLEAJE

El oleaje es uno de los procesos más importantes a tener en cuenta en el estudio de la hidrodinámica litoral. Sus características determinan la morfología costera, y tanto los elementos naturales como las construcciones antrópicas que puedan desarrollarse (espigones, puertos o arrecifes artificiales, entre otros), van a dar lugar a su modificación, desencadenando cambios en el régimen de transporte de sedimentos y otros aspectos derivados.

El oleaje se define en función de 4 variables;

- **Altura de ola significativa (Hs):** Altura media del tercio de olas más altas en un periodo de tiempo dado.
- **Periodo medio (Tm):** el tiempo medio que transcurre entre las crestas de dos olas consecutivas que pasan por el mismo punto.
- **Periodo de pico (Tp):** el periodo del grupo de ondas con más energía se denomina periodo de pico. Cuanto más regular es el oleaje más se parece Tp a Tm.
- **Dirección media del oleaje.**

A nivel nacional, según la *Estrategia española para la adaptación de la costa al cambio climático*, los resultados de las proyecciones a futuro muestran que la altura de ola significativa tiende a disminuir tanto a corto como a largo plazo, en toda la costa española salvo en el mar de Alborán e islas Canarias. El descenso más acusado se espera en el Golfo de Cádiz para el escenario RCP8.5 y el periodo 2081-2100, donde se estima que tanto el valor medio como el percentil 99% disminuyan en un 10% respecto a su valor actual, como puede observarse en las imágenes:

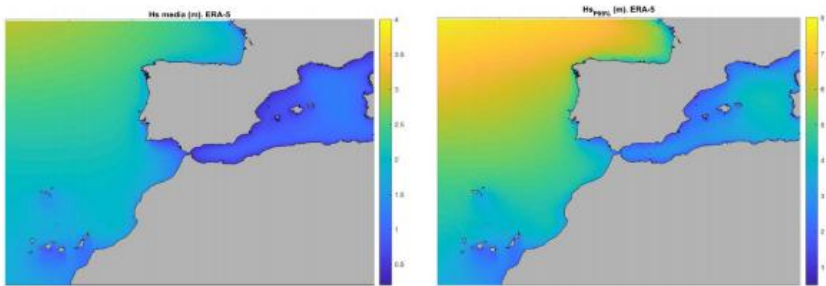


Figura 8. Valores medios (izquierda) y percentil del 99% de la altura de ola significativa (m) (derecha), obtenidos a partir de las variables atmosféricas procedentes del reanálisis ERAS (1985-2005). Fuente: Estrategia española para la adaptación de la costa al cambio climático.

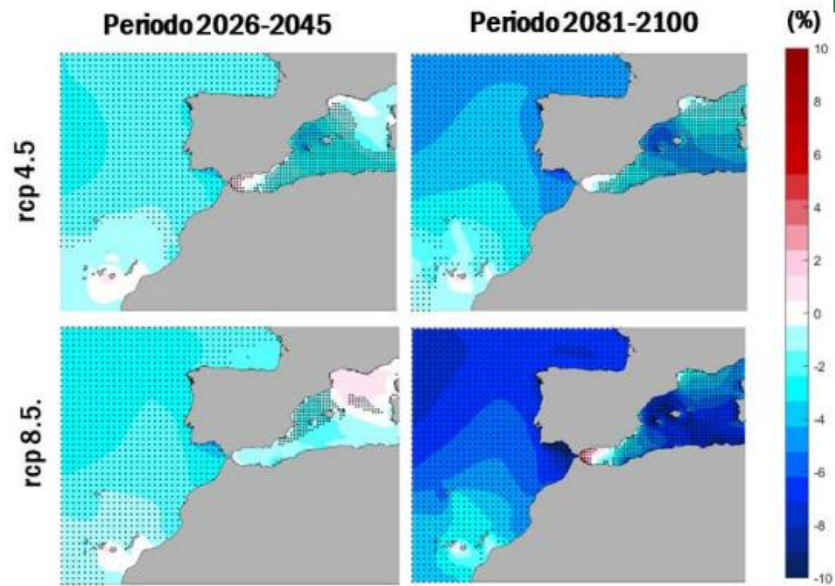


Figura 9. Cambios en el valor medio de la altura de ola significativa (H_s) para los dos escenarios y periodos analizados. Los cambios se han representado en tanto por cien respecto a los valores medios de la base de datos histórica de referencia. Los puntos indican una coincidencia en el signo del cambio en, al menos, el 80% de los modelos climáticos analizados. Fuente: Estrategia española para la adaptación de la costa al cambio climático.

Si bien hay que decir que, a día de hoy, hay muy pocas estimaciones de cómo cambiarán las olas a lo largo del siglo XXI para los distintos escenarios de cambio climático.

Según el visor C3E para la Playa de Las Piletas, efectivamente, el oleaje disminuye en todos los escenarios salvo en el de bajas emisiones y corto plazo (menos probable):

ESCENARIO	2026-2045	2081-2100
8.5	-0,0586	-0,0888
4.5	0.0138	-0,0518

Tabla 8. Altura de ola significativa (H_s 99.9%). Fuente: C3E.

Confirmando, efectivamente, la tendencia descendente para la altura de ola.

A nivel nacional los resultados de las proyecciones sobre el valor medio del **periodo de pico** y su percentil 99% estiman un ligero descenso en toda la costa atlántica. Se espera que este valor disminuya ligeramente (descenso inferior al 4%) en la mayor parte de la costa, a excepción del Golfo de Cádiz, aunque llama la atención que esta

disminución en su valor coincide con una menor concordancia entre los distintos modelos¹⁸.
 Según el visor, centrado en la playa de Las Piletas y en el entorno de las carreras el periodo pico disminuye en todos los escenarios, sin embargo, su percentil 99% marca un aumento:

VARIABLE	ESCENARIO	2026-2045	2081-2100
Tp, m	8.5	-0.0536	-0.1982
	4.5	-0.0180	-0.0962
Tp-99.9	8.5	0.2981	0.1053
	4.5	0.2477	0.0945

Tabla 9. Periodo pico medio (Tm en segundos) y Periodo pico al 99.9% (Tp_99 en segundos). Fuente: C3E

En cuanto al clima marítimo, el rango de marea es de 3.5 m y predominan los oleajes del oeste, siendo más energético el oleaje del oeste-suroeste donde la H 12 alcanza un valor de 2.23 m, según la Estrategia de Protección de la Costa. No se esperan cambios significativos según el visor.

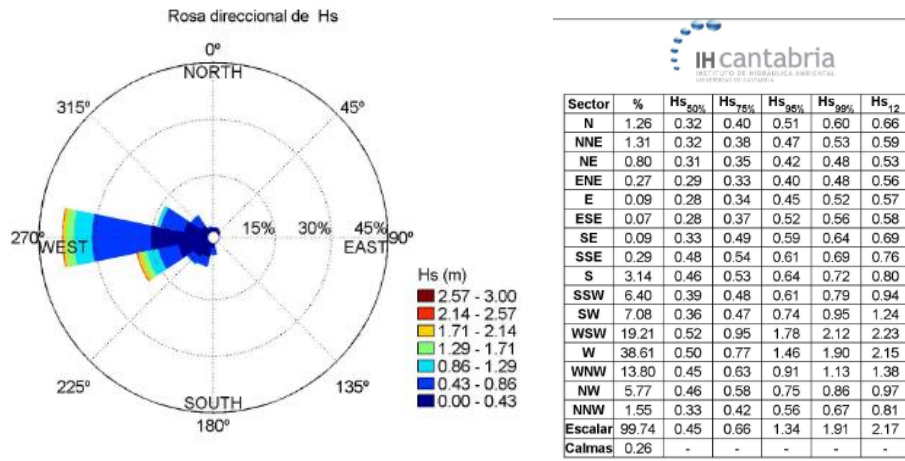


Figura 10. Oleaje en la UC-CA2. Fuente: Estrategias para la protección costera en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. Anejo 1. Caracterización del clima marítimo. 2019.

¹⁸ Extraído del informe *Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española*. Tarea 2: proyecciones de alta resolución de variables marinas en la costa española. MITECO, 2019.

6 VIENTO

El viento es la variable más estocástica del conjunto y, por ende, aquella sobre la cual las proyecciones regionales en el corto plazo presentan menos confianza. No obstante, según los últimos estudios, recogidos en el mencionado Informe CLIVAR-SPAIN, los vientos del sur que soplan a lo largo de la parte occidental de la Península Ibérica aumentarán, mientras que los vientos del este que soplan a lo largo de la parte septentrional disminuirán.

7 TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AGUA

Los cambios en la temperatura superficial del agua (SST) tendrán fuertes efectos sobre la vida marina y los ecosistemas costeros. La gran capacidad de absorción de calor de los océanos hace que, en general, éstos se calienten más despacio que la atmósfera, pero, aun así, los posibles cambios a lo largo del siglo XXI serán sustanciales.

Según los datos del visor C3E para Sanlúcar parece probable que el ascenso de la temperatura de la superficie del mar sea paulatino en el tiempo y más acusada en el peor escenario.

ESCENARIO	HISTÓRICO	2026-2045	2081-2100
8.5	18,49	0.20	0.64
4.5		0.18	0.32

Tabla 10. Incremento de temperatura superficial (°C). Fuente: C3E

La Estrategia española de adaptación costera al cambio climático, señala que desde el año 2000 al 2018, la temperatura del agua superficial en el Estrecho de Gibraltar y costa mediterránea andaluza, así como en el Golfo de Cádiz, ha sufrido un incremento elevado de la temperatura en un periodo corto de tiempo.

Las últimas proyecciones del CMIP para el Atlántico Nororiental muestran un calentamiento generalizado que se reduce a lo largo del margen ibérico y de la región canaria. Bajo el escenario SSP5 8.5, para el periodo (2070-2099), los modelos CMIP6 proyectan un aumento de la temperatura superficial del mar (SST) respecto al periodo (1955-1984) de $2,9 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$ en el Golfo de Cádiz.

El calentamiento es más pronunciado en verano que en invierno, especialmente en el Golfo de Cádiz, donde el calentamiento futuro en verano es $0,7^{\circ}\text{C}$ mayor que en

invierno. Algo similar ocurre en el Cantábrico. Por tanto, se producirá un aumento de la amplitud estacional de la SST.

Este hecho contribuye al aumento de las olas de calor marinas que ya se han duplicado, aumentando la intensidad del viento de los ciclones, a nivel global.

En cuanto a la evolución de las temperaturas subsuperficiales, los modelos CMIP6 proyectan un menor calentamiento, pero los patrones de cambio a 100 m de profundidad son muy coherentes con los de superficie. El calentamiento proyectado para el periodo 2070-2099 respecto a 1955-1984 es de $1,6 + 0,9^{\circ}\text{C}$ en el golfo de Cádiz. A 500 m, el patrón de cambio en el Atlántico NE es más homogéneo, con un gradiente de SE a NO. Para el mismo periodo y escenario, el calentamiento previsto es de $1,7 + 0,5^{\circ}\text{C}$.

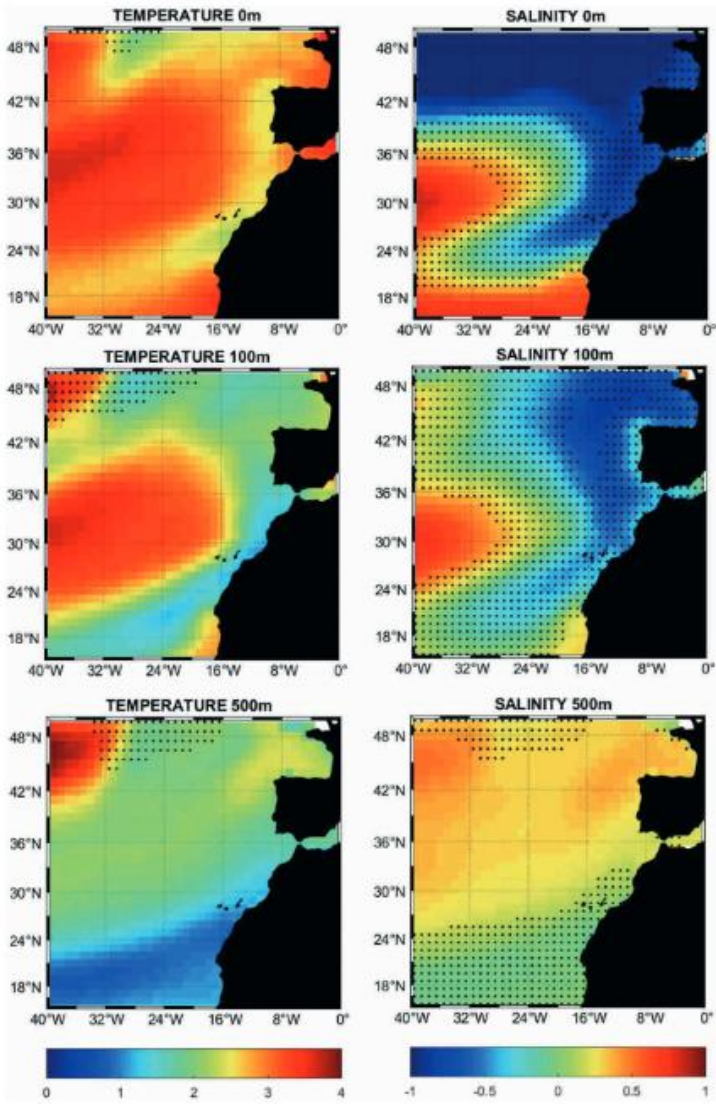


Figura 11. Cambio medio proyectado del conjunto CMIP6 (2070-2099 en relación con 1985-2014) bajo el escenario SSP5-8.5 de temperatura (izquierda) y salinidad (derecha) para diferentes capas: superficie (arriba), 100 m (centro) y 500 m (abajo). Las zonas punteadas indican las áreas donde la dispersión del conjunto es mayor que el cambio proyectado. Datos obtenidos del portal web sobre cambio climático de la NOAA (<https://psl.noaa.gov/ipcc/cmip6>).

De hecho, récord tras récord de temperatura superficial del mar, 2024 volvió a romper todas las barreras, superando los 21°C, incluso muy por encima de lo que cabía esperar debido a la anomalía del niño, como puede verse en la gráfica inferior. La línea azul se corresponde con el último Niño (2016).

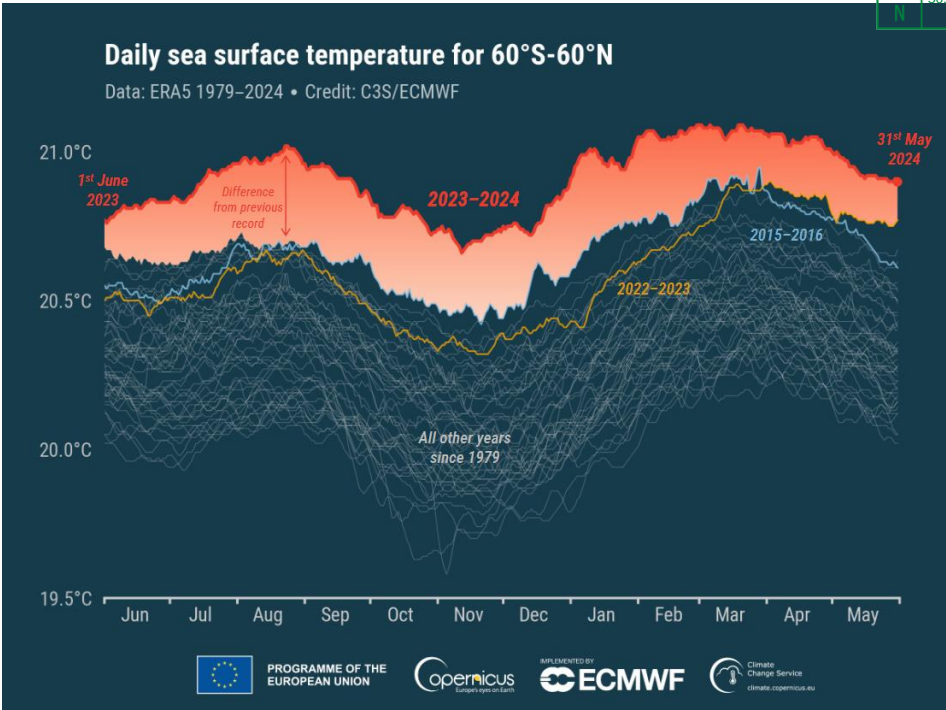


Figura 12. Temperatura superficial del mar entre los 60°N-60°S, desde 1979 hasta la actualidad. En azul se aprecia la última anomalía debida al Niño, en 2016. Disponible en https://sites.ecmwf.int/data/c3sci/bulletin/202405/press_release/

Esta variable no es baladí y de ella depende uno de los principales riesgos al que nos enfrentamos en la actualidad: la ralentización de la Circulación Meridional Atlántica (AMOC) que podría derivar en su colapso.

La AMOC es una corriente vital para la regulación del clima de la Tierra, se trata de la rama atlántica de la circulación termohalina (térmica y salina) y puede entenderse como una cinta transportadora marina y global que distribuye oxígeno, nutrientes, carbono y calor a lo largo del planeta. Se calcula que mueve unos 15 millones de metros cúbicos de agua por segundo, transportando con ese movimiento hasta el 25% del calor atmósfera-océano hacia el hemisferio norte.

Sin haber consenso, ya hay estudios muy serios que postulan que la AMOC podría colapsar en la década de 2030¹⁹. Algo que debe ser evitado a toda costa, puesto que

¹⁹ Swingedouw D, Bily A, Esquerdo C, Borchert LF, Sgubin G, Mignot J, Menary M. On the risk of abrupt changes in the North Atlantic subpolar gyre in CMIP6 models. Ann N Y Acad Sci. 2021 Nov;1504(1):187-201. doi: 10.1111/nyas.14659. Epub 2021 Jul 2. PMID: 34212391.

las consecuencias, además de irreversibles serían nefastas para el clima en el norte de Europa que sufriría un descenso de temperatura insostenible. Así mismo, cambiarían los patrones de lluvia de los cinturones tropicales y subiría un metro más el nivel medio del mar.

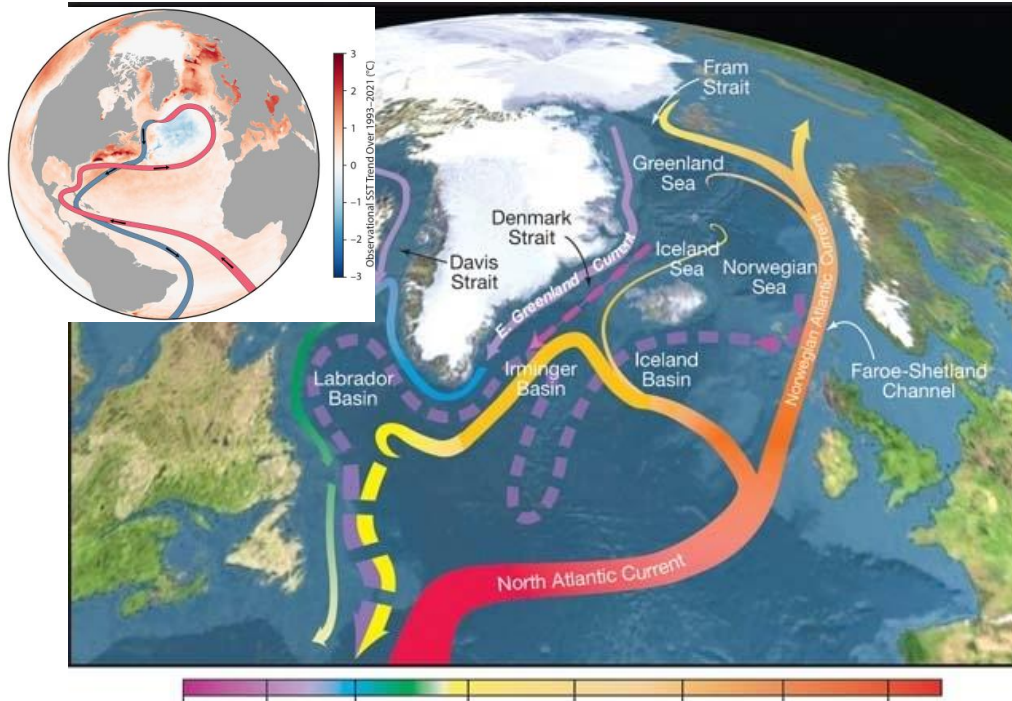


Figura 13. Flujos superficiales actuales (líneas continuas) y los flujos profundos (líneas discontinuas) para el Atlántico norte y los mares nórdicos. Figure modified from R. Curry and C. Mauritzen © Woods Hole Oceanographic Institution. Disponible en: <https://tos.org/oceanography/article/is-the-atlantic-overturning-circulation-approaching-a-tipping-point>

8 RIESGO DE EROSION Y DIAGNÓSTICO INTEGRADO.

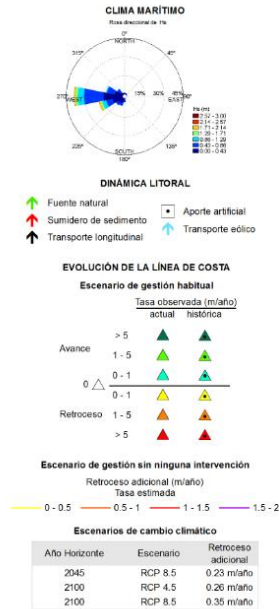
La Estrategia para la protección de la costa en la provincia de Cádiz considerando los efectos del cambio climático²⁰ (MITECO, 2021), realiza un análisis del riesgo de erosión y un diagnóstico integrado de cada tramo de playa, a fin de proponer las medidas de protección más adecuadas.

²⁰ <https://www.miteco.gob.es/es/costas/participacion-publica/00-epc-andalucia.aspx>

Dicha estrategia recoge la zona objeto de estudio en la Unidad de Gestión Costera UG-CA 2 Puerto de Bonanza-Puerto de Chipiona. Esta unidad contempla varias playas en erosión, de entre las cuales Las Piletas es una excepción:

ESTRATEGIAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA COSTA EN LAS PROVINCIAS DE CÁDIZ, MÁLAGA Y ALMERÍA
CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Anejo 1. Modelo morfodinámico de funcionamiento



8 | P á g i n a



Este proyecto está financiado por el programa de Apoyo a las Reformas Estructurales de la Unión Europea e implementado en colaboración con EUCC y sus socios, y la Comisión Europea



Figura 14. UG-CA 2 y ubicación de las instalaciones asociadas a las carreras de caballos señalada con una estrella. Estrategia para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. Anejo 1. Modelo morfodinámico de funcionamiento. MITERD 2020.

El sistema morfodinámico de funcionamiento es tal que la mayoría de las playas de la unidad se encuentran en erosión, destacando Punta Montijo, donde estudios previos estiman una tasa de erosión de hasta 2 m/año. Esto se debe a que el transporte litoral desde el sur y hacia el norte ha sido detenido por la presencia del Puerto de Chipiona y los continuos dragados del río Guadalquivir han reducido drásticamente los aportes sedimentarios a la unidad. Únicamente, la playa de las Piletas ha acumulado sedimento en esta unidad.

Esta estrategia determina la evolución de la línea de costa de cada unidad costera en base al riesgo de erosión, actual y futura. En la actualidad, cada uno de los tramos definidos, presentan un comportamiento muy distinto:

Unidad Costera	PLAYAS	TASA EROSIÓN ACTUAL (m/AÑO)
UC-CA2	Playa de Bonanza	En acreción
	Playa de Bajo de Guía	0
	Playa de la Calzada	0
	Playa de las Piletas	En acreción
	Playa de la Jara	1.85
	Punta Montijo	2.5
	Playa del Montijo	2.5
	Playa Micaela	0

Tabla 11. Tasa de erosión de las unidades de gestión correspondientes a UC-CA2. Fuente: Estrategia de protección costera. MITECO. 2021.

Las siguientes tablas recogen las tasas de erosión promedio (en m3/año) entre 2020 y los años horizonte (2045 y 2100) asociadas al cambio climático para toda la Unidad Costera. Considerando el escenario RCP 4.5 el retroceso neto es de 20.8 m en el año horizonte 2100 y según el escenario RCP 8.5 los retrocesos netos son de 5.75 m y 28 m en los años horizonte 2045 y 2100, respectivamente.

RETROCESO ADICIONAL (m/AÑO)		
2045	2100	
8.5	4.5	8.5
0,23	0,26	0,35

Tabla 12. Retroceso adicional de las playas de UC2 según escenario y periodo. Fuente: Estrategia de protección costera. 2021.

RETROCESO NETO (metros en el año horizonte)		
2045	2100	
8.5	4.5	8.5
5,75	20,8	28

Tabla 13. Retroceso neto en la UC2 según escenario, en los años horizonte. Fuente: Estrategia de protección costera. 2021.

La estrategia calcula el nivel de peligrosidad relativo a la erosión crónica y a la erosión debida al oleaje, para varios escenarios futuros:

ESCENARIO	AÑO HORIZONTE	ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO	ESCENARIO DE GESTIÓN	OBSERVACIONES
E0	2020	-	-	Escenario de referencia: permite establecer el nivel de riesgo en la situación actual.
E1	2030	-	Gestión habitual	Este periodo se corresponde a la duración de los estudios técnicos y procesos administrativos necesarios para llevar a cabo la implementación de algunas medidas de gestión.
E2			Sin intervención	

				En este corto plazo los efectos del cambio climático se consideran despreciables.
E3	2045	RCP8.5	Gestión habitual	Durante este periodo los diversos escenarios de cambio climático resultan prácticamente indistinguibles (por lo que solo se considera el más pesimista).
E4			Sin intervención	
E5	2100	RCP4.5	Gestión habitual	Dentro de 80 años. En este caso los distintos escenarios de cambio climático pueden arrojar resultados claramente diferenciados
E6			Sin intervención	
E7		RCP8.5	Gestión habitual	
E8			Sin intervención	

Tabla 14. Escenarios climáticos definidos por la estrategia de protección costera. Fuente: Diagnóstico 1. Análisis del riesgo de erosión, EPC, MITECO 2021.

La “gestión habitual” hace referencia a aquellos escenarios (E1, E3, E5 y E7) en los cuales se asume que se continúa aportando sedimentos a la playa según el ritmo actual y se realizan actuaciones de mantenimiento sobre las defensas costeras existentes, mientras que los escenarios “sin intervención” (E2, E4, E6 y E8), son aquellos donde se presupone que todo esto no ocurre, por lo que las playas se erosionan a un ritmo mayor, las estructuras existentes colapsan en el largo plazo y la exposición del frente costero aumenta.

Calcula la peligrosidad por erosión crónica a partir del ancho de playa seca para cada Unidad de Gestión, mientras que la peligrosidad asociada a los eventos erosivos deriva del porcentaje de olas que alcanzan el frente costero. Y determina los siguientes niveles de peligrosidad, clasificados por colores:

Leve	Moderado	Grave	Muy grave
------	----------	-------	-----------

Posteriormente, para determinar la peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo, se definen varios subsistemas dentro del sistema costero, a saber: medio humano, medio natural, medio socioeconómico (donde se incluyen las **ocupaciones del Dominio Público Marítimo-Terrestre entre las que se incluiría las asociadas a las carreras de caballos**) e infraestructuras críticas.

La caracterización para E0 (actualmente) del subsistema socioeconómico en toda la Unidad Costera es la siguiente:

ELEMENTO DE VALOR	NIVEL DE PELIGROSIDAD	NIVEL DE EXPOSICIÓN - VULNERABILIDAD	NIVEL DE RIESGO
Ocupaciones DPMT	Moderado 2	Muy grave 5	Grave 3,5

Figura 15. Valoración de la peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo de las ocupaciones del DPMT en CA2 y E0. Fuente: Anejo 2. Resultados del análisis del riesgo en Cádiz, EPC, MITECO 2021.

A futuro encontramos la siguiente valoración del peligro por erosión crónica y por oleaje:

PELIGROSIDAD	ESCENARIOS EN EL TRAMO								
	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Ancho de playa seca (m)	17	8	8	5	4	2	0	0	0
Nivel	Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave
Oleajes que alcanzan el frente costero (%)	16	46	46	75	79	100	100	100	100
Nivel	Moderado	Grave	Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave

Tabla 15. Peligrosidad crónica y asociada al oleaje que alcanza el frente costero, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.

Es decir, existe un peligro de carácter grave desde la actualidad e *in crescendo* a partir de 2030, para el ancho de playa seca y a partir de 2045 respecto de la posibilidad de que el oleaje alcance el frente costero, en cualquier escenario de emisiones y gestión.

La valoración de la exposición es la que sigue:

EXPOSICIÓN	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave

Tabla 16. Exposición de las ocupaciones en DPMT, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.

Muy grave desde la actualidad por la cantidad de ocupaciones existente, destacando las ocupaciones de terrazas en Bajo de Guía y la ocupación del Puerto de Bonanza. Con ello, el nivel de riesgo en este tramo resulta grave desde la actualidad:

RIESGO	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
	Grave	Grave	Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave	Muy Grave

Tabla 17. Riesgo de las ocupaciones en DPMT, en CA2. Fuente: Anejo 2. Resultados para Cádiz del Análisis de erosión. Estrategia de protección costera. MITECO 2021.

De hecho, esta Unidad Costera es una de las 3 con mayor riesgo de las existentes en Cádiz, junto con Santa María del Mar - Zona Militar de Torregorda y Sancti Petri - Acantilados de Conil (occidente). Existen tres puntos críticos identificados en la UC-CA2:

- En Bajo de Guía (PC-CA2.1) se producen erosiones debido al déficit de sedimentos asociado a los dragados del río Guadalquivir, que se agravan

puntualmente por formas rítmicas que migran y suelen coincidir con el embarcadero del Real Fernando, por lo que en esta zona la SGPC actúa habitualmente. Los hosteleros locales y el Ayuntamiento reclaman mayor ancho de playa y, de hecho, existen problemas asociados a la ocupación del DPMT por parte de terrazas. Adicionalmente, existen otros impactos asociados al colector municipal de saneamiento que discurre por la playa.

- En la playa de la Jara (PC-CA2.2) también se producen erosiones con afección a viviendas.
- En Punta Montijo y playa de Montijo (PC-CA2.3) se produce la mayor erosión de la unidad, con afección también a viviendas. La SGPC dispuso escollera de protección a lo largo de 150 m y un espigón que ha sido parcialmente retirado (durante una época estuvo conectado al corral) y permite el paso de sedimentos a la playa adyacente que también están aterrando el interior del corral. El resto de escolleras de la zona son iniciativas privadas

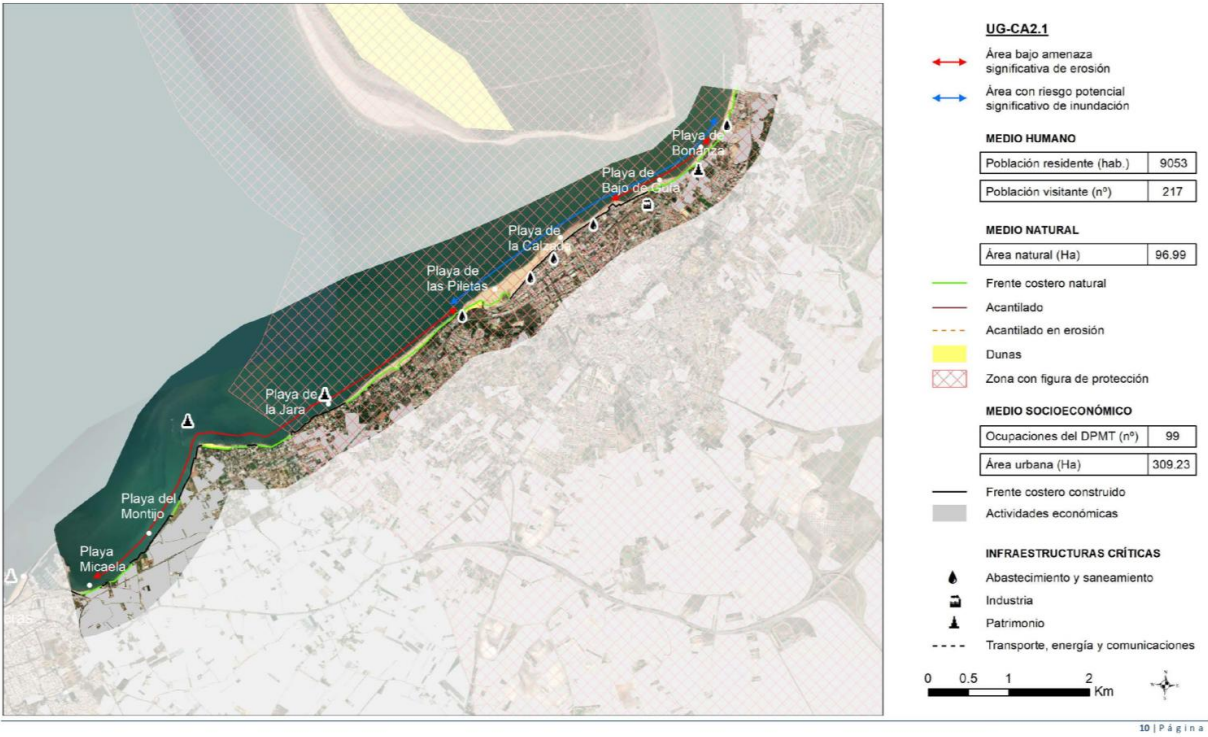
Ninguno se asocia a la Playa de Las Piletas, donde se desarrollan las carreras de caballos que es, como ya se ha mencionado, una excepción dentro de esta unidad costera.

A continuación, la Estrategia determina en un Diagnóstico Integrado los riesgos de erosión, inundación y percepción de un conjunto de problemas definidos para cada subsistema.

Para el tramo donde se ubican las instalaciones asociadas a las carreras de caballos se obtiene la siguiente valoración:

ESTRATEGIAS PARA LA PROTECCIÓN DE LA COSTA EN LAS PROVINCIAS DE CÁDIZ, MÁLAGA Y ALMERÍA CONSIDERANDO LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Anejo 1. Diagnóstico integrado en las UG de Cádiz

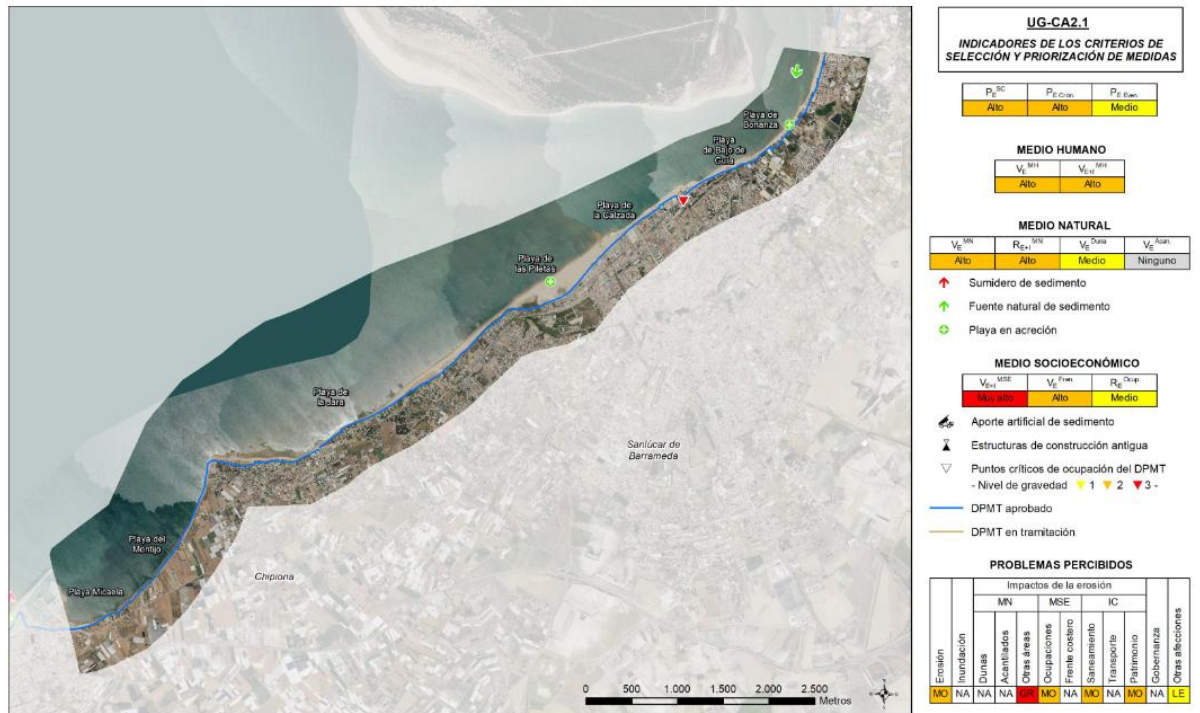


Este proyecto está financiado por el programa de Apoyo a las Reformas Estructurales de la Unión Europea e implementado en colaboración con EUCC y sus socios, y la Comisión Europea



Figura 16. Diagnóstico integrado UCA3. Fuente: Anejo 1. Diagnóstico integrado en las Unidades de Gestión de Cádiz.

Entendiéndose que el área se encuentra bajo amenaza significativa de inundación (azul), en consonancia con las proyecciones del *Climate Central*.



Este proyecto está financiado por el programa de Apoyo a las Reformas Estructurales de la Unión Europea e implementado en colaboración con EUCC y sus socios, y la Comisión Europea



Figura 17. Indicadores de los criterios de selección y priorización de medidas. Fuente: Selección y priorización de medidas para la protección de la costa. Anejo 1. Resultados en las Unidades de Gestión de Cádiz. Estrategia de protección costera. 2022.

Y en base a este diagnóstico se determinan las medidas de protección de la costa y su prioridad, como se recoge en siguientes apartados.

9 TEMPORALES

Los eventos de inundación costera provocados por temporales se relacionan con el término de marea meteorológica, es decir, con la elevación de la superficie de la mar provocada por:

- El viento perpendicular a la costa.
- La bajada de la presión atmosférica.

Este fenómeno también está influenciado por el oleaje energético (gran altura de rompiente y extensión de batida) y por la marea astronómica, puesto que actúan como un sumatorio en el fenómeno de inundación. Además, las condiciones morfológicas de la playa y su evolución son fundamentales para analizar la capacidad de respuesta ante la acción de temporales de diferente período de retorno. La presencia de determinados ecosistemas como puedan ser dunas o marismas, ejercen, en este sentido, una labor imprescindible de protección.

Los datos analizados apuntan a que el oleaje no cambia de dirección ni se incrementa en el entorno, como tampoco lo hace el viento, y que la propia marea meteorológica disminuye en toda España.

Sí empeora la erosión de la costa en todo el tramo definido por la Estrategia de Protección Costera, salvo en Las Piletas, playa que, además, cuenta con una pequeña zona de dunas, aumentando así su capacidad de resiliencia frente a temporales.

A nivel global las previsiones apuntan a un aumento de los temporales costeros²¹ cuestión que, podría afectar a la celebración de las carreras atendiendo a la modificación de la estacionalidad, como se verá más adelante.

Respecto de los últimos temporales, según la ficha para la valoración de daños causados por los temporales de 2018, el conjunto de las playas de la costa de Sanlúcar de Barrameda se vieron afectadas por los fuertes oleajes acaecidos y por su alta cota de inundación. El ataque del oleaje fue especialmente evidente en las playas del este, hacia la desembocadura del Guadalquivir.

Se dieron deterioros en perfil de la playa: Debido la persistencia del temporal, las playas sufrieron un detrimento moderado de arena, evidente en la playa de Bajo de Guía desde el astillero hacia aguas arriba del cauce del Guadalquivir, en las Playas de la Jara y la Calzada.

²¹ Según la Estrategia Española de Adaptación Costera al Cambio Climático: *aunque las proyecciones de marea meteorológica tienen un elevado grado de incertidumbre, la subida del nivel del mar potenciará los eventos extremos de inundación aumentando su intensidad y especialmente su frecuencia.* Afirmación que refuerza el informe especial sobre océanos y criosfera del IPCC cuando dice que los fenómenos que antes presentaban un periodo centenario, en el suroeste de la Península, pasan a un periodo anual antes de 2040, debido al efecto del aumento del nivel del mar.

Se produjeron diversos escalones de en la berma de las playas del este, más atacables por el oleaje y las mareas. Los mayores se localizaron en la playa de la Jara de, a la altura del Arroyo del Espadero (altura entre 20cm y 80cm de altura).

Es decir, la playa de Las Piletas fue la que menos sufrió debido a los aspectos analizados en este estudio. Es conveniente recoger información sobre el comportamiento de cada playa durante otros temporales importantes.

Una cuestión a tener muy en cuenta es que los temporales parecen cambiar su comportamiento estacional y no quedar limitados al invierno, pudiendo producirse en primavera o en otoño.

De hecho, si se observan algunas de las variables climatológicas relacionadas con la temperatura, como por ejemplo la temperatura máxima, en el corto, medio y largo plazo, a través de las estaciones del año se aprecia un aumento en todos los casos más acusado en otoño.

ESTACIÓN	1971-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2100	DIFERENCIA
PRIMAVERA	20,48	21,65	22,94	24,33	2,95
VERANO	29,56	30,69	31,78	32,23	2,67
OTOÑO	23,66	24,54	26,23	27,75	4,09
INVIERNO	16,25	17,08	17,96	19,19	2,94

Tabla 18. Temperaturas máximas en RCP 8.5 por estaciones en el corto, medio y largo plazo. Fuente: Adaptecca.

Esta tendencia es similar analizando otras variables (noches cálidas, olas de calor, etc.). Se debe prever, por tanto, que un aumento en las temperaturas provoque un aumento en la intensidad de los factores que generan los temporales costeros (como la temperatura superficial del mar y el viento). Así mismo, que un cambio en las estaciones del año conlleve también un cambio en la temporalidad de los eventos extremos, incluidos los temporales costeros.

El estudio más reciente, publicado por Jevrejeva et al., (2023), integra simulaciones dinámicas de todos los componentes de los niveles extremos del mar, para el presente siglo bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. El peor escenario se calcula como una combinación del aumento del nivel del mar asociado a la marea meteorológica y las olas (período de retorno de 100 años, percentil 95), la marea astronómica (percentil 95) y un escenario de aumento del nivel del mar (percentil 95). Es decir, se consideran la combinación de casos de baja probabilidad, pero alto impacto. Los cambios previstos en los niveles extremos del mar de baja probabilidad para 2100, en relación

con el periodo histórico 1980-2014, se estiman en torno a 1,3-1,4 m en la costa atlántica española, según recoge el Informe CLIVAR-Spain, 2024.

10 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Se recogen a continuación las medidas de adaptación previstas en las dos estrategias costeras, de adaptación y protección, frente al cambio climático.

10.1 Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española.

Tal como recoge la Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española en su sección tercera sobre medidas de adaptación *la selección de las medidas más adecuadas es sumamente complejo debido a la incertidumbre en la evolución y la acumulación de impactos asociados al cambio climático.*

En general, la estrategia prioriza la integración de *conjuntos de opciones que se caractericen por su robustez y flexibilidad para hacer frente a un amplio rango de escenarios futuros, ya que llevan aparejados beneficios adicionales, más allá de la mera adaptación al cambio climático.*

Asimismo, y en consonancia con la Comunicación de la Comisión Europea: “Infraestructuras verdes: mejora del capital natural de Europa” (COM(2013) 249 final), la Estrategia prioriza, en la medida de lo posible, *aquellas medidas de adaptación basadas en soluciones naturales, dado que aportan beneficios ecológicos, económicos y sociales gracias a la prestación de una extensa gama de servicios ecosistémicos. En su defecto, se dará preferencia a soluciones que combinen infraestructuras verdes con otras para garantizar la reducción del riesgo.*

Entendiendo que esos mismos criterios de priorización deben regir todo intento de adaptación, se exponen a continuación los bloques de medidas propuestos en la Estrategia que se consideran más adecuados al objeto de este estudio, indicando su categoría y aplicación.

1. DIAGNÓSTICO Y ANÁLISIS DE RIESGOS

Descripción según la Estrategia:

La realización del diagnóstico actual y la evolución temporal de riesgo debido a los efectos del cambio climático y de los eventos extremos en las costas españolas se

dirige principalmente a evaluar los principales impactos que éstos pueden producir, tanto en los sistemas naturales como en los sistemas socioeconómicos localizados en la costa, muy especialmente en aquellos sectores estratégicos para la sociedad española y en las infraestructuras. El diagnóstico incluirá, al menos, los impactos de inundación y erosión en los sistemas costeros (...).

Además de los riesgos y consecuencias para el periodo temporal fijado como línea de base, el diagnóstico establecerá los riesgos y consecuencias proyectadas para medio y largo plazo sobre la base de las proyecciones de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición que se puedan obtener con base en la información científico-técnica disponible, acotando las incertidumbres y formulando el diagnóstico en términos útiles para la toma de decisiones incluida su valoración económica.

Aplicación:

El presente estudio recoge el diagnóstico del riesgo actual y futuro emanado de la Estrategia de Protección de la Costa frente a los efectos del cambio climático. Se entiende el riesgo como la combinación de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad. Como se ha visto en los apartados anteriores la peligrosidad en el la Unidad Costera CA2 es elevada, como lo es también el riesgo integrado de erosión e inundación. Sin embargo, la playa de Las Piletas supone una excepción.

2. INTRODUCCIÓN DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA Y PROTOCOLOS DE EVACUACIÓN

Descripción según la Estrategia:

Se trabajará en coordinación con Protección Civil, tanto a nivel nacional como con las Comunidades Autónomas, además de con AEMET para su implantación y operación.

Aplicación:

Se aconseja establecer un protocolo de actuación en caso de aviso de temporal costero.

3. REGENERACIÓN DE PLAYAS Y SISTEMAS DUNARES

Descripción según la Estrategia:

Se realizarán actuaciones en la línea de las realizadas dentro del Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al cambio climático en España, PIMA Adapta 2015. El objetivo es poner en marcha, con vocación de continuidad en el tiempo, proyectos concretos de adaptación al cambio climático en nuestro país.

Esta opción considera la regeneración de playas y sistemas dunares que por acción antrópica, efecto del cambio climático o eventos extremos sean afectados por niveles de erosión o degradación no aceptables. Su función fundamental es la de reducir los efectos de la erosión, aunque también protege frente a la inundación. Es una medida efectiva, aunque no definitiva si el origen de la erosión no se ataca directamente.

Compatible con el concepto de infraestructura verde

Aplicación:

Pueden organizarse actividades en relación a la conservación, regeneración y puesta en valor de las dunas, integradas o no en las actividades que ya se vienen celebrando en torno a las carreras de caballos y descritas a continuación, a fin de fomentar su protección y crecimiento y, con ello, la protección de la propia playa.

4. CAPACITACIÓN Y CONCIENCIACIÓN

Descripción según la Estrategia:

Capacitación para técnicos y especialistas y profesionales de las administraciones y del sector privado en forma de cursos, talleres o publicaciones que favorezcan una mejor aplicación del conocimiento y experiencia existente para conseguir una mejor adaptación al cambio climático en la costa, así como para hacer frente a las consecuencias de los eventos extremos. Asimismo, se promoverán acciones conducentes a la concienciación social y a la de los diferentes agentes que tienen intereses en la costa. Por su naturaleza, se fomentará que las acciones de capacitación y concienciación se realicen en colaboración con agentes públicos y privados.

Este tipo de actuaciones se contemplan dentro del PIMA Adapta

Aplicación:

A modo de recomendación se sugiere que toda persona vinculada a la organización de las carreras (y, en general, en el entorno costero), reciba la adecuada formación/sensibilización para comprender la fragilidad del ecosistema, los riesgos actuales, la capacidad de autoprotección y las buenas prácticas que permitan minimizar las amenazas. Podría incluirse esta recomendación en cualquiera de los eventos que ya se realizan o que están previstos.

5. GESTIÓN DE CONCESIONES.

Descripción según la Estrategia:

El MAGRAMA desarrollará los instrumentos necesarios para implementar el efecto del cambio climático en la gestión de concesiones en el DPMT Compatible con el concepto de infraestructura verde.

Aplicación:

La obligatoriedad de presentar un estudio de estas características junto a la solicitud de uso u ocupación del DPMT por parte de las instalaciones asociadas a las carreras de caballos para su regularización se encuentra en la línea de esta medida.

Tabla 19. Medidas de adaptación emanadas de la Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española recomendadas para las instalaciones asociadas a las carreras de caballos (Sanlúcar de Barrameda).

Pueden resultar de interés otras medidas recogidas en este Estrategia (algunas recogidas en las medidas establecidas para esta unidad de gestión costera en la estrategia de protección de la costa, como se analiza a continuación) relacionadas con las estructuras de protección, con la regeneración de ecosistemas, la relocalización o incluso con la introducción de seguros y primas específicas que, no obstante, exceden de la capacidad de análisis de este estudio.

La clasificación de las medidas propuestas es la siguiente:

MEDIDA	CATEGORÍA 1	CATEGORÍA 2
Diagnóstico y análisis de riesgos.	Tecnología Información	Protección, acomodación y retroceso
Introducción de sistemas de alerta temprana y protocolos de evacuación.	Tecnología. Información. Comportamiento.	Acomodación.
Regeneración de playas y sistemas dunares.	Ingeniería. Ecosistemas.	Protección
Capacitación y concienciación.	Educación. Información	Otras.
Gestión de concesiones.	Políticas y programas de la administración	Otras.
<p>Protección: Tienen como fin último proteger las zonas en riesgo, ya sean parte del sistema socioeconómico o natural, tratando de evitar que se produzcan los impactos derivados de la inundación, erosión, intrusión salina, etc., mediante la reducción de la peligrosidad y/o especialmente la exposición.</p> <p>Acomodación: Aquellas que, manteniendo los elementos en riesgo potencial en las zonas afectadas, priorizan la reducción de la vulnerabilidad de los mismos mediante la modificación de usos del suelo, la introducción de normativa específica para las infraestructuras y viviendas o la adopción de medidas que aumenten la preparación de los elementos afectados ante los posibles impactos.</p> <p>Retroceso: Abandono planificado de las zonas susceptibles de verse afectadas por los impactos del cambio climático o de los riesgos extremos.</p>		

10.2 Estrategia de protección de la costa de Cádiz, considerando los efectos del cambio climático.

Por su parte, la Estrategia de protección de la Costa determina una serie de medidas para la unidad costera donde se ubican las instalaciones objeto de este estudio que, en base al riesgo diagnosticado, clasifica de *intervención prioritaria en el corto plazo*.

Riesgo

Situación actual	Corto plazo	Medio plazo	Largo plazo
Medio	Alto	Alto	Alto

Tabla 20. Grado de riesgo de erosión e inundación para la CA2. Fuente: Catálogo de medidas para la protección de la costa. Estrategias para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático. 2021.

Intervención: Prioritaria en el corto plazo.

CA2. PUERTO DE BONANZA - PUERTO DE CHIPIONA (SANLÚCAR DE BARRAMEDA)		
ETAPA	MEDIDAS RECOMENDADAS	MEDIDAS NECESARIAS
1 Liberación del DPMT		Revisión del deslinde. Identificación de Ocupaciones. Coordinación entre administraciones. Revisión de títulos. Recolocación y retirada.
2 Restablecimiento del balance sedimentario	Monitorización.	Coordinación entre administraciones. Gestión del sedimento.
3 Recuperación de elementos naturales		Mapas y estudios. Monitorización (playas). Regeneración (playas). Educación ambiental (duna). Rehabilitación de dunas. Estructuras de estabilización.
4 Defensa y retirada	Mapas y estudios.	Actuaciones para la defensa
Eje transversal	Comunicación y participación. Educación ambiental.	

Tabla 21. Medidas de adaptación propuestas para la CA2. Fuente: Catálogo de medidas para la protección de la costa. Estrategias para la protección de la costa en las provincias de Cádiz, Málaga y Almería considerando los efectos del cambio climático.

11 CONCLUSIONES

En el tramo donde se ubican las instalaciones asociadas a las carreras de caballos:

- Se produce un aumento cierto del nivel mar.
- Los elementos que definen la morfodinámica de la playa (viento y oleaje) no varían de forma significativa en el tiempo.
- La temperatura superficial del agua está en claro aumento.
- Se espera un incremento de los temporales costeros en el corto plazo y pueden producirse tarde en la primavera o pronto en el otoño. Sin embargo, tomando como referencia los mayores temporales vividos en los últimos años (Emma, 2018; Gloria, 2020; y el tren de borrascas de marzo de 2025 - Jana, Konrad, Laurence, Martinho y Nuria) de las playas en Sanlúcar de Barrameda, Las Piletas fue la que menos sufrió.
- La Unidad Costera donde se encuentra la Playa de las Piletas y las instalaciones para el desarrollo de las carreras de caballos presenta riesgos significativos de erosión e inundación en la actualidad y en aumento para cualquier escenario futuro. Sin embargo, Las Piletas es la única playa que supone una excepción al comportamiento erosivo del tramo y actualmente se encuentra en acreción.
- Esta playa tiene una zona de dunas que aumenta la resiliencia del entorno.
- Las instalaciones asociadas a las carreras de caballos se ubican en una zona con riesgo potencial de inundación.
- Se determina un riesgo combinado de erosión e inundación medio en la actualidad y alto en el corto, medio y largo plazo, lo que motiva una *intervención prioritaria en el corto plazo*, según la Estrategia de Protección de la Costa, publicada por el MITECO en 2021.
- Se recomienda, sobre todo, realizar actividades de prevención y sensibilización, contribuir a la conservación de las dunas y conocer el avance y comportamiento de la playa. Así mismo, llevar un registro pormenorizado del comportamiento de las playas tras los pasos de los grandes temporales costeros.

Se concluye que las instalaciones asociadas a las carreras de caballos pueden verse afectadas *a futuro* tanto por la inundación debida al aumento del nivel del mar como a los efectos de los temporales costeros, sin embargo, en mucho menor grado que el resto de la Unidad Costera a la que pertenece la playa de Las Piletas, al encontrarse en una ubicación privilegiada en este sentido. No hay motivo para desaconsejar la regularización de las instalaciones existentes, siempre que se cumpla con las recomendaciones.

Autoría:

Revisión y visto bueno,
Carmen Tornero Pinilla

Amanda Rivillas Vitondo
Lda. Ciencias del Mar

Firmado por ***3108**
CARMEN TORNERO (R:
****7677*) el día 26/02/2026
con un certificado emitido por
AC Representación
Lda. Ciencias Ambientales
Colegiada COAMBA N° 1299