

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>1</b>
<b>3. EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....</b>	<b>3</b>
3.1. SUBIDA DEL NIVEL MEDIO DEL MAR (NMM) .....	3
3.1.1. GENERALIDADES.....	3
3.1.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN.....	4
3.2. MODIFICACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE OLEAJE.....	5
3.2.1. GENERALIDADES.....	5
3.2.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN.....	6
3.3. INCREMENTO DE LA ALTURA DE OLA .....	6
3.3.1. GENERALIDADES.....	6
3.3.2. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS .....	7
3.3.3. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL OLEAJE EN AGUAS SOMERAS.....	8
3.3.4. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN.....	8
3.4. MODIFICACIÓN DE LA DURACIÓN DE LOS TEMPORALES .....	8
3.4.1. GENERALIDADES.....	8
3.4.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN.....	8
3.5. TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL AGUA DEL MAR .....	9
3.5.1. TEMPERATURA.....	9
3.5.2. SALINIDAD .....	9
3.5.3. EVOLUCIÓN ESPERADA .....	10
3.5.4. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN.....	10
<b>4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA COSTA A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.....</b>	<b>10</b>
4.1. PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO – ZONAS COSTERAS .....	10
4.1.1. LÍNEAS DE ACTUACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN – ZONAS COSTERAS .....	11
4.2. PLAN DE ADAPTACIÓN DE CANARIAS AL CAMBIO CLIMÁTICO – ZONAS COSTERAS.....	11
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>12</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La presente **Evaluación de los Efectos del Cambio Climático** se redacta como Anejo Nº4 a la Memoria correspondiente al “**Proyecto de Ampliación y Mejora del Paseo Peatonal de Playa del Castillo**”, según lo establecido en el Artículo 91 del Reglamento General de Costas (R.D. 876/2014, de 10 de octubre).

En cuanto al contenido de este Anejo, se cumple con lo establecido en el Artículo 92 del citado Reglamento, el cual establece lo siguiente:

**“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.”*

## 2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

El proyecto se localiza en la localidad de **Caleta de Fuste**, situada en la costa este de la isla de Fuerteventura, en el término municipal de Antigua.

La zona costera donde se encuentra ubicada la ensenada de Caleta de Fuste está formada, al norte, por pequeños riscos, y al sur, por lajas de piedra y rocas sueltas que forman pedreros de poca pendiente que quedan sumergidos con la pleamar.

La ensenada está delimitada por el puerto deportivo de El Castillo al norte y por una playa de rocas sueltas al sur, dejando la playa al resguardo de los oleajes provenientes de, prácticamente, todas las direcciones a excepción de los provenientes del sur, poco frecuentes en la zona.

Con la última remodelación llevada a cabo en la playa, el paseo cuya ampliación es objeto de este proyecto queda bastante alejado de la orilla, por lo que se considera poco probable una interacción entre este y el mar en las condiciones actuales de nivel del mar, altura de mareas y alturas de las olas, incluso en temporales de dirección sur.



Imagen 2.I.- Situación del proyecto (Fuente: Google Earth)



Imagen 2.II.- Vista de la zona costera aladaña a la playa de El Castillo (Fuente: Google Earth)





Imagen 2.III.- Planta de la playa de El Castillo y el paseo peatonal objeto del Proyecto (Fuente: Google Earth)

El paseo proyectado lo podemos englobar dentro de la unidad de estudio definida en el Proyecto de Cambio Climático Española (C3E, explicado en el apartado 2.2 del presente anejo), como unidad nº145, correspondiente al siguiente ámbito de la costa mayorera:



Imagen 2.IV.- Unidad nº 145 del C3E (Fuente: C3E)

La costa perteneciente a la unidad 145 tiene la siguiente geomorfología:

1. Longitud total de costa:	9,45 km
2. Playas:	0,74 km (7,83 %)
3. Acantilados:	8,71 km (92,17 %)
4. Frente urbano:	0,0 km
5. Diques en talud:	0,27 km
6. Área playas:	0,093 km <sup>2</sup>
7. Espejo de agua puertos	0,0127 km <sup>2</sup>

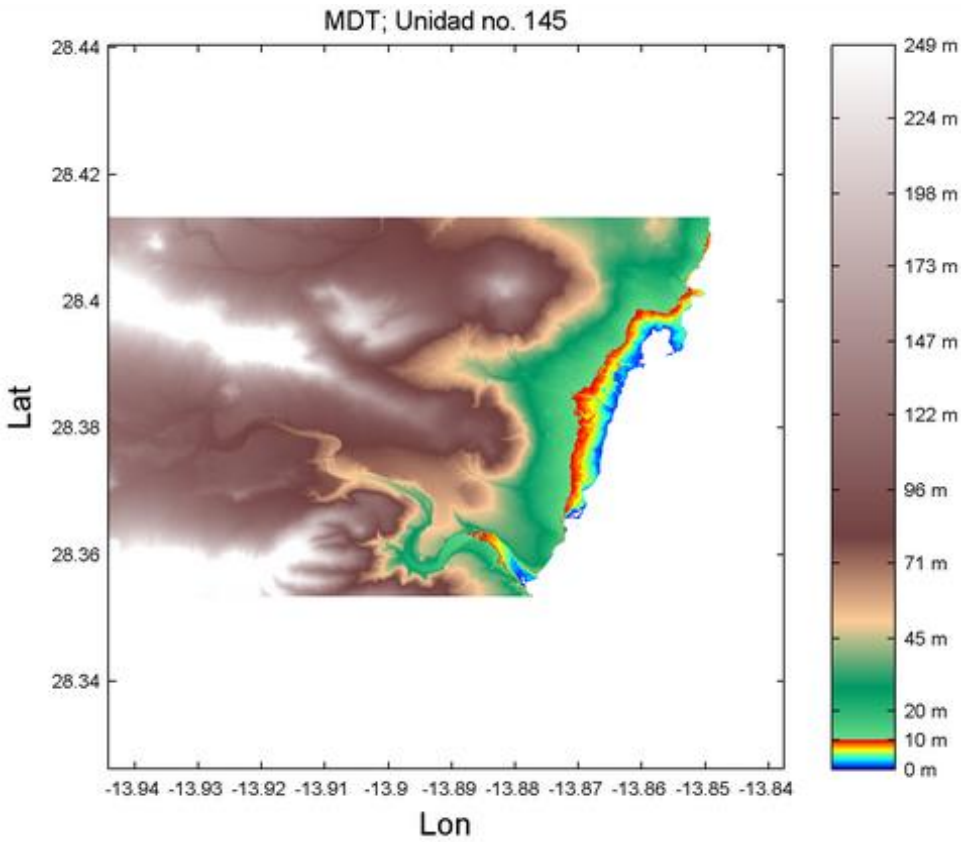


Imagen 2.V.- Altimetría de la zona de estudio (Fuente: C3E)



A continuación, y en apartados sucesivos, se describirán los distintos efectos producidos sobre la zona de actuación del proyecto debidos a las consideraciones mencionadas en el Artículo 92 del Reglamento General de costas.

Es por esto que muchas de las conclusiones se enmarcan dentro de una previsión futura diferenciando entre tres escenarios distintos extraídos de los Informes especiales sobre escenarios de emisiones (SRES):

2. Escenario futuro A2: regionalización, énfasis en riqueza humana. Regional, intensivo (golpeo de civilizaciones).
3. Escenario futuro B1: regionalización, énfasis en sostenibilidad y equidad. Globalizado, extensivo (desarrollo sostenible).



### 3.1.1. GENERALIDADES

Los datos de diversas fuentes consultadas, sintetizan los siguientes aumentos anuales:

- Observando los datos recogidos en el grafico elaborado a partir de datos de boyas (1.870-2.001) y medidas de satélite (1.993-Actualidad), en los últimos 140 años el nivel del mar ha aumentado casi 20 cm, con una tasa máxima de crecimiento entre los años 1.993-2.008 de 3,1 mm/año.

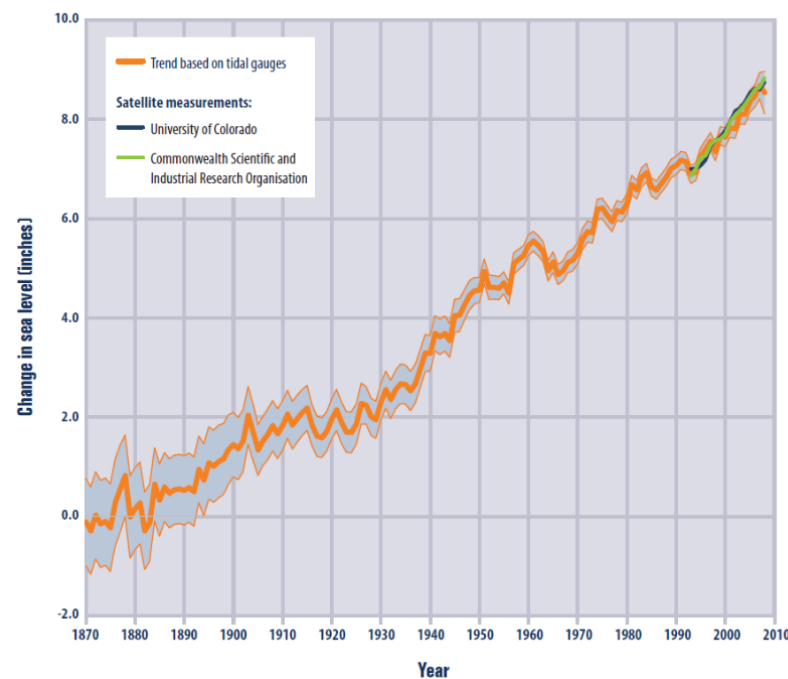


Imagen 3.1.1.1.- Variación del nivel medio del mar absoluto de los océanos del mundo desde 1.870 (Fuente: Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC)

Según proyecciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), debido al calentamiento global se espera una subida entre los 25 a 30 cm para el año 2.050.

Las variaciones del nivel del mar a corto plazo pueden considerarse derivadas de las mareas astronómicas, las olas provocadas por los vientos que acompañan a las borrascas profundas. Además, existen variaciones estacionales –con expansión en verano y contracción en invierno- y también interanuales e incluso decenales, como las provocadas por el fenómeno del niño, suponiendo variaciones transitorias de 20 a 30 cm en algunos océanos.

No obstante, las variaciones más importantes, en las que está involucrado el calentamiento global antropogénico, son las que se dan a largo plazo. Debemos distinguir los siguientes mecanismos:

1. La expansión térmica por aumento del contenido energético de los océanos. Sería responsable de la cuarta parte del ascenso entre 1.961 y 2.003 y casi el 50% en los últimos 15 años.
2. La fusión de los glaciares en regiones no polares, que supondría un 25-30% de la subida experimentada.
3. La fusión de los glaciares de las regiones polares, entendiendo como tales los que están situados en tierra en Groenlandia y la Península Antártica, suponen otro 25-30%. Hay que diferenciarlo de la

fusión banquisa ártica, ya que en este caso hablamos de hielo que flota en el mar y que, por tanto, no supone una subida del nivel del mar.

Por otra parte, y a partir de los datos de mareógrafos existentes a lo largo de la costa española se ha determinado que la tendencia actual de variación del nivel medio del mar en el litoral español es de 2,5-3,0 mm/año, por lo que extrapolando al año 2.050, se tendría un ascenso del nivel medio de 12,5-15 cm. Este valor se encuentra en la banda media de los contemplados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) que en su último informe establece una variación del nivel del mar entorno a los 15 cm.

Para cuantificar el valor medio de aumento del nivel del mar en la zona correspondiente al E de la isla de Fuerteventura, se ha optado por extraer dicha información de los resultados obtenidos en el Proyecto “Cambio climático en las costas españolas” desarrollado por el Instituto de Hidráulica ambiental de Cantabria, dentro de las directrices y financiamiento del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medioambiente y del Ministerio de Ciencia e Innovación.

El incremento en el nivel del mar produce cambios en el perfil de las playas. En la siguiente imagen se ilustra de manera sintetizada, los efectos que el aumento del nivel del mar produce en el perfil longitudinal de una playa en estado de equilibrio:

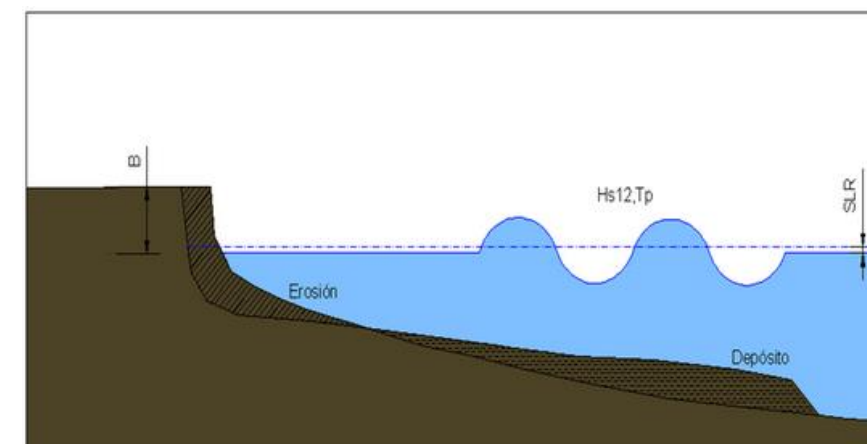


Imagen 3.1.11.1.- Efecto en el perfil longitudinal de una playa del aumento del nivel del mar (Fuente: Panel Intergubernamental del Cambio Climático IPCC)

### 3.1.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN

El diseño del paseo marítimo está previsto para una **vida útil de 25 años**, según la Tabla 2.2.1.1., de la ROM 0.2-90, como se puede ver a continuación:



TABLA 2.2.1.1. VIDAS ÚTILES MÍNIMAS PARA OBRAS O INSTALACIONES DE CARÁCTER DEFINITIVO (en años)			
TIPO DE OBRA O INSTALACIÓN	NIVEL DE SEGURIDAD REQUERIDO		
	NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3
INFRAESTRUCTURA DE CARÁCTER GENERAL	25	50	100
DE CARÁCTER INDUSTRIAL ESPECÍFICO	15	25	50

Con este dato, se prevé un período de funcionamiento hasta el año 2.045, para el cual obtendremos por extrapolación, el valor medio de aumento del nivel del mar.

- Variación del nivel del mar (cm) en la zona correspondiente a Caleta de Fuste mediante extrapolación histórica (media) al año 2.040:  $\Delta NMM_{2.040} +7,577 \text{ cm}$
- La tendencia de aumento anual del nivel del mar en la zona de proyecto se encuentra en los **0,228 cm/año**.

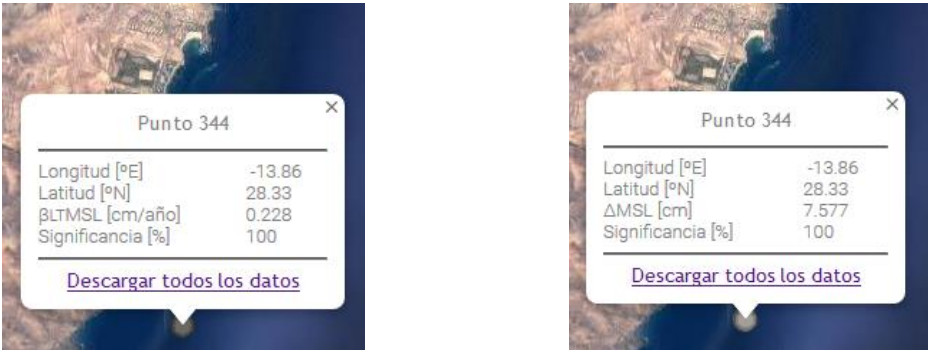


Imagen 3.1.2.1.- Tendencia y variación media anual del nivel del mar en la zona de estudio (Fuente: Cambio Climático en las Costas Españolas (C3E). IH Cantabria.)

Con estos datos y extrapolando al año 2.045, obtenemos un aumento del nivel medio del mar en la zona de  $\Delta NMM_{2.045} +8,717 \text{ cm}$

Teniendo en cuenta que el paseo se encuentra tras la Playa de El Castillo, será relevante el estudio del retroceso de la playa provocado, tanto por cambio en el nivel del mar, como por el cambio de dirección del flujo de energía.

En el primer caso, y según datos del C3E, el retroceso sufrido por la playa en el 2.040 será de 1,497 m, lo cual supondrá, para el **año horizonte**, un **retroceso total de la playa debido al aumento del nivel del mar esperado de 1,72 m**.

### 3.2. MODIFICACIÓN DE LAS DIRECCIONES DE OLAJE

#### 3.2.1. GENERALIDADES

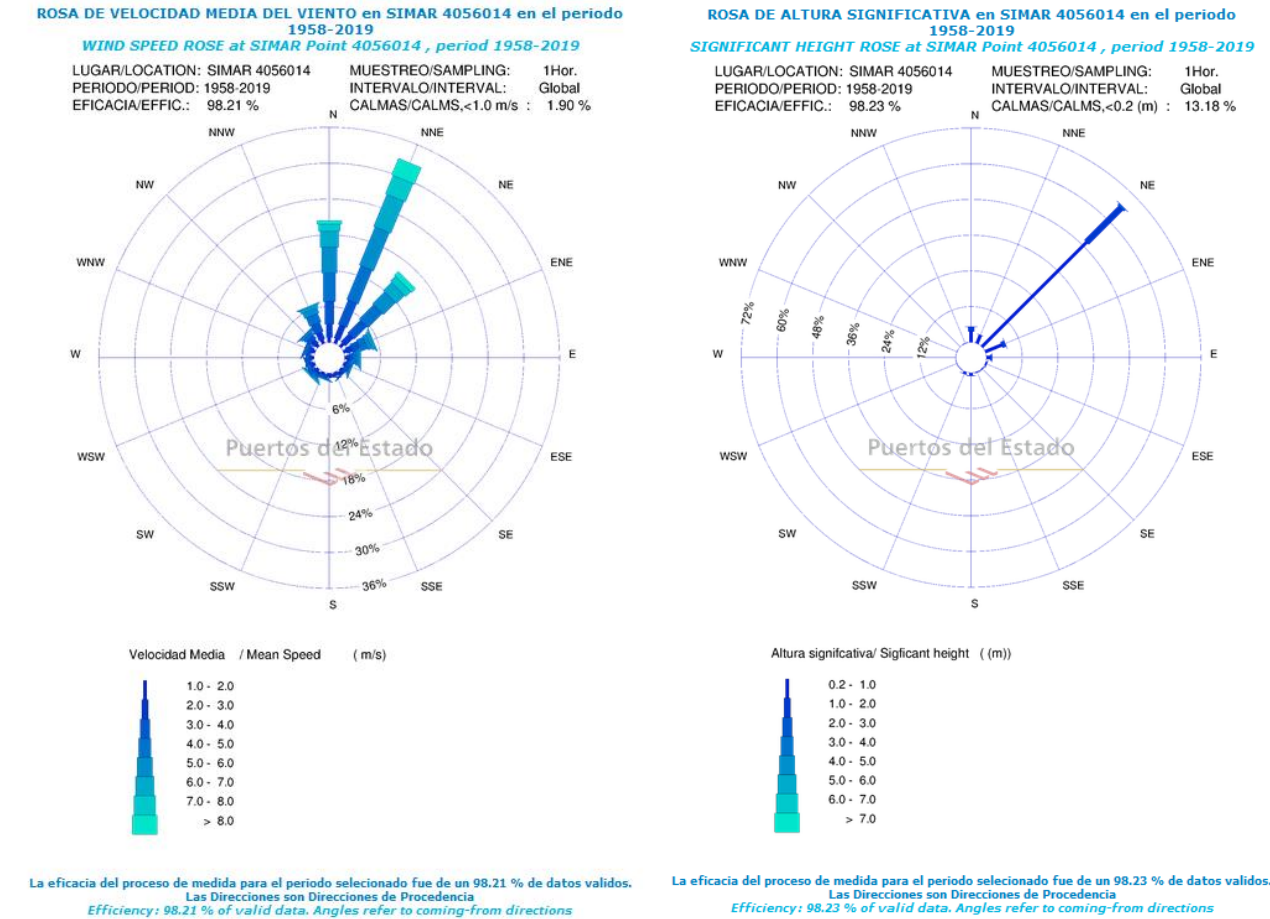
La corriente de Canarias es una corriente fría cuya dirección general es NE-SW, pero, al llegar al archipiélago y debido al efecto “barrera” que introduce este, casi perpendicular al flujo de la corriente, se producen aceleraciones y remolinos.

En las siguientes dos rosas, de viento y oleaje, se aprecia claramente la dirección de ambos en el ámbito de la playa. La dirección del oleaje es claramente NE, oleaje del que la playa encajada de El Castillo está totalmente resguardada, a excepción del oleaje producido por la refracción del oleaje en el muelle homónimo. El viento predominante en la zona, y en toda la isla en general, es de componente NNE.

Por estas razones, a sotavento de las islas mayores, se establecen zonas de calmas. Estas zonas de calmas, generadas por el efecto de los relieves insulares, están menos batidas por el viento y en ellas las aguas se mezclan menos con las de la corriente general, dando lugar a la formación de aguas más cálidas y estables.

Además, se generan turbulencias originadas por el rozamiento de los vientos y la corriente dominante contra los relieves insulares. Esto da lugar a la aparición de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, al oeste y al este de las islas.

Durante el invierno, por influencia de los alisios, el oleaje en las costas canarias es casi continuo Nordeste, afecta sobre todo a las costas de barlovento. En otoño también domina el oleaje del nordeste, pero en menor intensidad y frecuencia. A partir de la primavera y durante el verano, la fuerza del oleaje disminuye notablemente, con olas de menos de un metro y calmas al suroeste. Todos estos factores influyen en gran medida en la configuración de las costas y a la dinámica que las afecta.



### 3.2.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN

Como se muestra en las siguientes imágenes, la variación en la dirección del flujo medio de energía debido a diferentes factores, como lo es el cambio climático y sus consecuencias, puede provocar variaciones tanto en el perfil de una playa, como en la planta de la misma. Es por ello, que en este apartado valoraremos, según los datos disponibles, la influencia de este factor en el ámbito de las obras.

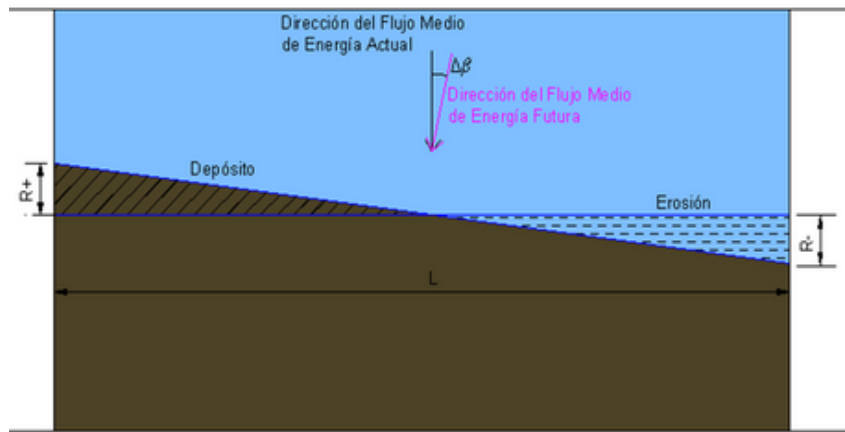


Imagen 3.2.2.1.- Efectos en la planta y el perfil de una playa de una variación en el (Fuente: Cambio Climático en las Costas Españolas (C3E). IH Cantabria.)

Centrando el estudio en la zona de actuación, correspondiente a la playa de El castillo, y tomando como punto de partida los datos previos de dirección media anual del oleaje, cuya dirección general es NE, como se parecía en la siguiente imagen:



Imagen 3.2.2.II.- Dirección media del flujo de energía en la zona de estudio. (Fuente: Cambio Climático en las Costas Españolas (C3E). IH Cantabria.)

Los resultados obtenidos por el IH Cantabria y representados en el visor C3E, son:

PERIODO	ESCENARIO	$\Delta\theta_{FE}$ (°)
2010/2039	A1B	-0,114
	B1	-0,127
	A2	-0,135
2040/2069	A1B	-0,249
	B1	-0,181
	A2	-0,299

Como se puede apreciar, la variación en la dirección del flujo de energía en la zona oscila entre los 0,127 y los 0,299°. Lo cual supone que no se observan signos significativos de modificación en el sentido de abordaje del oleaje respecto a la vertiente noroeste actual, por lo que no son de esperar modificaciones en la planta o el perfil de la playa derivados de esta variación.

### 3.3. INCREMENTO DE LA ALTURA DE OLA

#### 3.3.1. GENERALIDADES

El oleaje es la respuesta de la superficie del mar a las variaciones en las condiciones atmosféricas. Cuando se produce una tormenta y soplan fuertes vientos, éstos transmiten energía al mar generando oleaje.

En la zona de generación el oleaje es desordenado y caótico, transmitiendo energía en muchas direcciones y periodos, los que se denomina oleaje de viento o tipo "sea". Al alejarse de esa zona, mediante procesos de

dispersión radial y frecuencial el oleaje se va ordenando en torno a ciertas direcciones y concentrando su energía en periodos más altos, de manera que al llegar a la costa lo hace de forma limpia y ordenada, es el denominado mar de fondo o tipo “swell”. Además, hay que tener en cuenta que el oleaje en costa no tiene por qué responder al mismo patrón o comportamiento que en aguas profundas. La franja costera absorbe la mayor parte de la energía transportada por el oleaje que es finalmente disipada fundamentalmente por rotura.

Al ser el oleaje un proceso bastante complejo de estudiar, generalmente se utilizan parámetros agregados que lo caractericen, como la altura de la ola, el periodo o la dirección. El análisis estadístico de estos parámetros permite conocer el clima marítimo de una zona, que son las condiciones de largo plazo de la dirección, frecuencia, energía y eventos extremos de las olas.

Por otra parte, el oleaje que se produce en el litoral de Canarias es de dos tipos:

- Generado por las perturbaciones o borrascas que circulan de oeste a este en el Atlántico Norte, que se propaga hacia las islas con dirección sur y sureste, llamado mar de fondo o reboso.
- Generado por los vientos alisios, cuya dirección es de la componente norte y noreste. Este tipo de oleaje suele tener una altura de 1,30 a 2,0 m, pudiendo alcanzar alturas de hasta 4 m en casos excepcionales.

Durante el invierno, por influencia de los alisios, el oleaje en las costas canarias es casi continuo de nordeste, afectando sobre todo a las costas de barlovento aunque no supera los tres metros de altura. En otoño también predomina el oleaje nordeste, pero en menos intensidad y frecuencia. A partir de la primavera y durante el verano, la fuerza del oleaje disminuye notablemente, con olas de menos de un metro y calmas suroeste.

3.3.2. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL OLEAJE EN AGUAS PROFUNDAS

Partiendo del análisis de los resultados obtenidos en el proyecto desarrollado por IH Cantabria y en base a datos de boyas, satélites y análisis numéricos, en los últimos 60 años se han observado aumentos significativos en la región norte peninsular (vertiente cantábrica y costa gallega) de 0,2 cm/año y reducciones en Canarias del orden de -0,1 cm/año, más leves en la costa mediterránea. Son especialmente notables los cambios más intensos y significativos detectados durante la época de invierno, en torno a 1,4 cm/año y suaves en verano, lo cual supone un aumento en el rango de variación estacional mantenido en las últimas seis décadas.

Los cambios detectados en el oleaje más intenso y energético (percentil 95 de altura significativa Hs95) muestran un incremento significativo en el cantábrico de hasta 0,8 cm/año y un descenso significativo de -0,4 cm/año en la costa sureste de las islas canarias. Estos patrones espaciales son similares a las condiciones

medias para la altura de ola, pero de aproximadamente el doble de magnitud. Comparado con los cambios en las condiciones medias, estos resultados indicarían un mayor rango de variación entre las condiciones altas y medias de alturas de ola en la costa mediterránea y un aumento en el cantábrico y descenso en Canarias en toda la distribución de rangos de altura de ola de forma sostenida. Con respecto a los periodos de oleaje, factor importante para el rebase sobre playas y estructuras, entre otras variables, el periodo de pico muestra una tendencia creciente en todo el Atlántico especialmente en la zona sur de las Islas Canarias, donde se han estimado aumentos tendenciales de medio segundo para el año 2.030. Esto, junto a un aumento de las alturas de las olas, reflejaría un mar más energético a lo largo de las últimas seis décadas.

Los resultados disponibles en aguas profundas en la zona de proyecto son los siguientes:

1. Valor medio actual de la altura de ola significativa entre 1 y 1,5 m.
2. Valor extremo de la altura de ola significativa correspondiente al percentil del 95% entre 2 y 2,5 m.
3. Tendencia de variación de la altura de ola significativa correspondiente al percentil del 95% cercano al -0,2 cm/año
4. La previsión de la variación de la altura de ola significativa media según los estudios realizados por el IH Cantabria y en base a los escenarios propuestos por el IPCC, oscila entre 3 y 7 cm para el año 2.069.

Concretamente y teniendo en cuenta los escenarios expuestos en el IPCC, tenemos los siguientes resultados:

PERIODO	ESCENARIO	$\Delta H_{s,m}$ (cm)
2010/2039	A1B	≈ 2
	B1	≈ 1
	A2	≈ 1
2040/2069	A1B	≈ 5
	B1	≈ 2
	A2	≈ 5

Teniendo en cuenta que la energía del oleaje y la potencia eólica son variables relacionadas con el oleaje, ya que ambas están controladas por los patrones de circulación atmosférica en el Atlántico norte. Las observaciones de los últimos 60 años muestran un aumento fuerte de la potencia del viento en el cantábrico por encima de los 0,6 W/m2/año y una disminución más suave en Canarias y el mediterráneo entre 0,2 a 0,4 W/m/año. Se ha observado también que en los meses de invierno se produce un aumento muy fuerte de la variabilidad en el Cantábrico y Baleares, que no se mantiene al largo del año, es decir, que en los meses de invierno la intensidad de los vientos es cada vez más dispar. Por el contrario, las Islas Canarias, presentan vientos con intensidad más constante en los meses de verano.



Centrando el estudio en la zona de actuación tenemos los siguientes resultados de las variables energéticas de oleaje y viento:

1. Flujo medio de energía de las olas (Fe).
  - a. Rango de energía actual en la zona de estudio: 3-5 Kw/m.
  - b. Previsión horizonte 2.040 – 2.069: ascenso cercano a 0,5 kW/m en todos los escenarios.
2. Energía eólica (Pw).
  - a. Rango de energía actual en la zona de estudio: entre 250 y 300 W/m².
  - b. Según estudios del IH, se espera una reducción de la potencia eólica para el año 2.040 de unos 30 W/m².

3.3.3. CAMBIOS OBSERVADOS EN EL OLEAJE EN AGUAS SOMERAS

Una vez que el oleaje llega a la costa es necesario conocerlo y caracterizarlo, puesto que esa información será crucial para el diseño de infraestructuras, gestión adecuada de la costa.... La altura de la ola significativa media anual es un indicador de como el clima marítimo evoluciona bajo condiciones medias, influenciando las actividades portuarias entre otras. La altura de ola significativa solo excedida 12 horas al año Hs12, está íntimamente relacionada con la profundidad de cierre del perfil de playa y, por lo tanto, con la erosión potencial, así como el flujo medio de energía, que está relacionado con el transporte de sedimentos y la forma en planta de playas encajadas.

En la costa Cantábrica, donde mayores valores de Hs12 se registran, se ha observado un aumento de esta variable con valores entorno a los 1,4 cm/año en los últimos 60 años.

Por el contrario, en el litoral mediterráneo se ha observado una tendencia negativa con valores de hasta -0,6 cm/año en la costa de Castellón y hasta -0,4 cm/año en la Bahía de Almería.

En la zona de estudio que nos compete tenemos los siguientes resultados y previsiones:

1. Valor medio actual de Hs12: 1,924 m
2. Tendencia de crecimiento anual de Hs12: +0,023 cm/año
3. Incremento esperado de Hs12 para los diferentes escenarios propuestos por el IPCC:

PERIODO	ESCENARIO	ΔHs12 (cm)
2010/2039	A1B	1,074
	B1	1,107
	A2	1,446
2040/2069	A1B	1,329
	B1	1,470
	A2	1,791

3.3.4. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN

En base a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que el riesgo asociado al oleaje se produce por eventuales crecimientos de la altura de la ola con el estudio de sus diversos parámetros, altura media, altura sobrepasada 12 horas al año, viento que genera las olas y la potencia de las mismas, podemos concluir que todos los parámetros estudiados presentan pequeños aumentos, incluso para periodos mayores que la vida útil del paseo proyectado, lo cual no producirá efectos adversos en el mismo debidos a estos fenómenos.

3.4. MODIFICACIÓN DE LA DURACIÓN DE LOS TEMPORALES

3.4.1. GENERALIDADES

Los distintos apartados que hemos descrito con anterioridad al actual, es decir, el relativo al aumento del Nivel Medio del Mar (NMM), las modificaciones en la dirección de abordaje de las olas, el aumento o disminución de la altura de la ola y los parámetros intrínsecos asociados, son factores que influyen enormemente en la duración de los temporales que azotan las costas.

El hecho de que aumente el nivel medio del mar y la altura de la ola influyen en las características que pueda tener un temporal, haciéndolos más intensos y también más duraderos en el tiempo.

3.4.2. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN

De la misma forma que se estudió en el apartado 3.1 del presente anejo el aumento del nivel del mar (entorno a los 9 cm), y se consideró este como de poca importancia, dada la nueva morfología de la playa y su distancia al paseo, se considera de poca importancia también el aumento de la duración de los temporales, ya que la orientación de la playa de El Castillo la protege de la gran mayoría de los temporales que se producen anualmente en la zona a estudio.

### 3.5. TEMPERATURA Y SALINIDAD DEL AGUA DEL MAR

#### 3.5.1. TEMPERATURA

Las Islas Canarias se encuentran en la zona de transición entre las aguas frías del afloramiento costero sahariano y las oceánicas más cálidas situadas al oeste, lo cual, junto a su disposición alineada en sentido este-oeste, permite la existencia de un marcado gradiente térmico entre las islas orientales y las occidentales (la diferencia de temperatura entre los dos extremos del archipiélago es tan solo 0,5°C, encontrándose el agua más caliente en el oeste). La otra característica de la temperatura de las aguas es el limitado rango de variación invierno-verano, en comparación con otras zonas templadas y subtropicales próximas, oscilando normalmente sus valores extremos actuales entre los 17,5º y 25ºC.

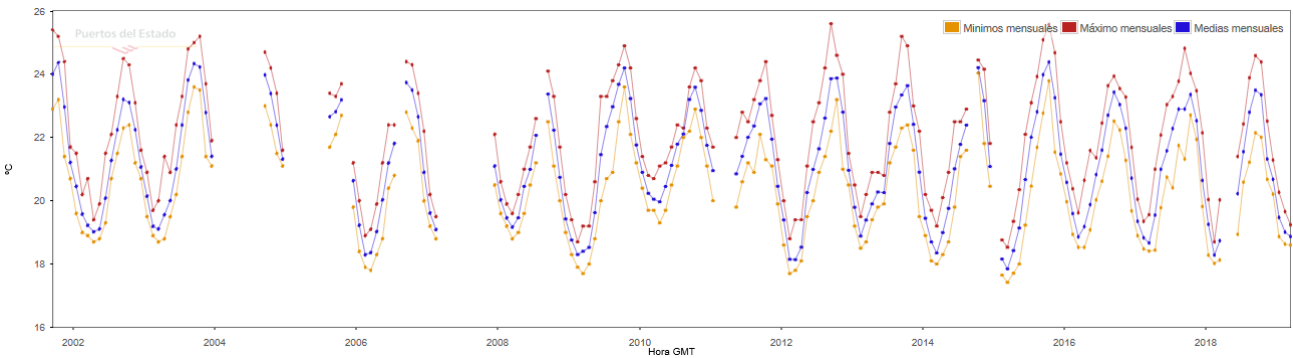


Gráfico 3.5.1.I.- Temperatura superficial del agua en la zona de estudio. Período 2002-2018. (Fuente: Puertos del Estado)

Un estudio de los datos disponibles para las Islas Canarias del periodo 1948-2006 muestra una fase de progresivo aumento en las últimas décadas (media 21,11°C), después de un periodo anterior más frío (en la década de 1970 la media fue de 20,33°C), con el máximo valor en 1997 (21,66°C) y una serie de años también muy cálidos posteriores como en 2003 y 2004. La tendencia es claramente alcista, si bien el proceso no está siendo uniforme y se producen cierta alternancia de años más fríos y cálidos y también fenómenos esporádicos de intenso calentamiento en verano, ocurrido en 2012 y 2015, cuando se registraron temperaturas superficiales más altas conocidas en las islas, llegando casi a los 26ºC.

Ts: Temperatura Superficial Media del Agua / Mean Surface Temperature of Water ° C					Ts: Temperatura Superficial Media del Agua / Mean Surface Temperature of Water ° C				
Boya de Gran Canaria 1997-2019					Boya de Gran Canaria 1997-2019				
Mes / Month	Ts Max. / Max. Ts	Año / Year	Día / Day	Hora / Hour	Mes / Month	Ts Min. / Min. Ts	Año / Year	Día / Day	Hora / Hour
Enero / January	21.7	2011	04	17	Enero / January	18.3	2018	30	10
Febrero / February	20.8	2010	25	21	Febrero / February	17.6	2015	21	00
Marzo / March	20.7	2002	21	19	Marzo / March	17.4	2015	29	01
Abril / April	21.4	2003	29	00	Abril / April	17.7	2015	01	00
Mayo / May	22.1	2017	10	18	Mayo / May	18.0	2015	22	08
Junio / June	23.3	2009	29	05	Junio / June	18.9	2018	07	01
Julio / July	23.3	2017	28	17	Julio / July	20.4	2017	01	10
Agosto / August	25.1	2004	29	00	Agosto / August	20.9	2009	03	07
Septiembre / September	25.6	2012	26	20	Septiembre / September	21.3	2017	08	07
Octubre / October	25.6	2015	03	17	Octubre / October	21.1	2008	31	04
Noviembre / November	24.7	2015	04	16	Noviembre / November	20.0	2008	30	23
Diciembre / December	22.6	2009	01	04	Diciembre / December	19.0	2008	17	22
					Diciembre / December	19.0	2008	15	23

Tablas 3.5.1.I.- Histórico de temperaturas máximas y mínimas registradas. (Fuente: Puerto del Estado)

#### 3.5.2. SALINIDAD

En estudios realizados del tramo de la columna de agua correspondiente al Agua Central Nordatlántica del Este (ACNAE), se han obtenido las características termohalinas y su variabilidad temporal, calculando también otras variables dependientes que facilitan la determinación de las masas de agua. A su vez, se ha llevado a cabo un amplio estudio de agua superficial, obteniendo ciclos estacionales cuya amplitud térmica es de 2,7ºC/año correspondiente a valores de 17,9 y 23,6 ºC y una salinidad es superficie con un rango máximo de 36,6 a 37,2. Su desviación estándar anual máxima en superficie es del orden de 1,5ºC en temperatura y 0,12 en salinidad y su variabilidad interanual máxima se centra en la profundidad correspondiente a la termoclina estacional con un valor de 0,6ºC y una salinidad de 0,08. Además, se buscaba la conexión de esta agua superficial con el agua central Nordatlántica del este, calculando las profundidades de la capa mezclada invernal, que presentan valores entre 110-180 db y de la termoclina estacional cuyos valores están entre 25-75 db. Se observa también que la termoclina estacional muestra una tendencia a emerger a lo largo del periodo estudiado.

Durante la última década en Canarias ha habido un aumento estadísticamente significativo en la temperatura y salinidad sobre isobaras entre 1.500 y 2.300 db. El aumento máximo que se encuentra a 1.600 db, se está produciendo a un ritmo de 0,29ºC de temperatura y 0,047 de salinidad por década.

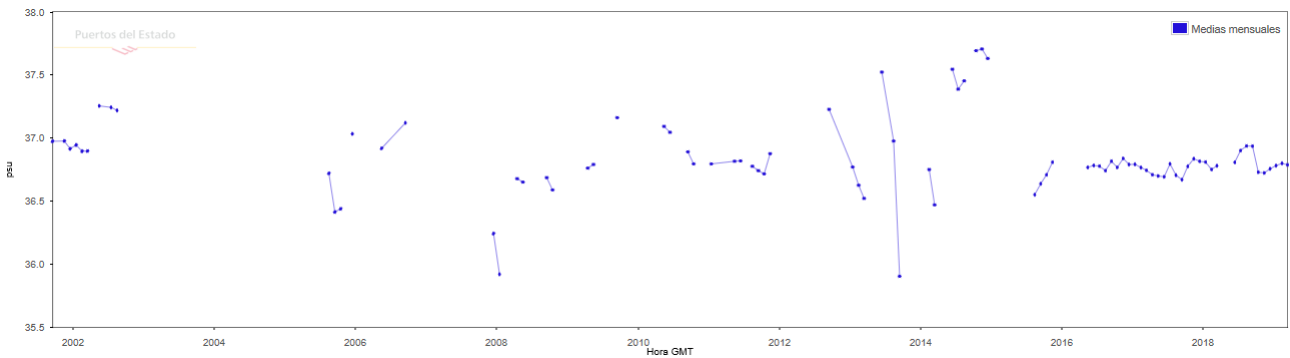


Gráfico 3.5.2.1.- Salinidad del agua en la zona de estudio. Período 2002-2018. (Fuente: Puertos del Estado)

### 3.5.3. EVOLUCIÓN ESPERADA

Los informes del Panel Intergubernamental del Cambio Climático recopilan la información científica disponible y presentan los escenarios globales y regionales más plausibles cara al futuro. En ellos se plantea un escenario futuro en el cual el frente polar se retirará más al norte, intensificándose las características meridionales en la demarcación. Esto se traduce en aguas progresivamente más calientes y más salinas en las porciones más superficiales del océano. A nivel global se ha planteado la posibilidad de que la circulación meridional de retorno en el atlántico se pueda ralentizar o detener, lo cual conllevaría consecuencias notables en el océano y en el clima.

El aumento de la temperatura del agua del mar puede conducir a un aumento de la estratificación marina y consecuentemente a cambios en el sistema circulatorio; asimismo, puede dar lugar a la migración de algunas especies o al aumento de proliferación de algas, con incidencias importantes para el sector de la acuicultura o turístico.

### 3.5.4. EFECTOS SOBRE LA ZONA DE ACTUACIÓN

El aumento esperado de la temperatura y la salinidad del agua del mar pueden provocar en la zona de evaluación del presente anejo una leve disminución de las zonas bentónicas como consecuencia del asentamiento del erizo de mar en un escenario de calentamiento global.

El calentamiento de los océanos está provocando un aumento de la estratificación. Esto tiene consecuencias importantes en las regiones de afloramiento costero (upwelling), ya que el contenido de oxígeno disminuye con el aumento de la producción biológica, promoviendo entornos subóxicos o anaeróbicos. Esto afecta no solo a la distribución vertical de los organismos marinos, sino también a la estructura y funcionamiento de la cadena alimentaria entera.

Aun así, teniendo en cuenta el horizonte de estudio presente anejo para el año 2.050, no se prevén grandes modificaciones en términos de temperatura y salinidad del agua de mar en la zona objeto de estudio, con lo

cual la incidencia de dichos factores en las comunidades bentónicas o la biodiversidad de la zona costera no serán especialmente relevantes.

## 4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DE LA COSTA A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En el Artículo 92 del Reglamento General de Costas (aprobado por el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre) también se hace referencia a la necesidad de considerar las medidas de adaptación que se definan en la estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático. En la disposición octava de la ley 2/2013, de 29 de mayo “Informe sobre las posibles incidencias del cambio climático en el dominio público marítimo-terrestre”, se establece que tanto desde el marco nacional como autonómico deberán elaborarse planes estratégicos para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático.

Por lo tanto, y a continuación, se describirán los distintos elementos que constituirán los planes estratégicos de adaptación de la costa a los efectos del cambio climático a nivel nacional y a nivel autonómico relativos a las zonas costeras.

### 4.1. PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO – ZONAS COSTERAS

A modo de resumen, a nivel nacional los principales problemas del cambio climático en las zonas costeras se relacionan con potenciales cambios en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas, así como en el posible ascenso del NMM.

En el caso de una subida generalizada del NMM, las zonas más vulnerables serán los deltas y playas confinadas o rigidizadas. La parte del litoral español formada por acantilados de rocas resistentes no presentará problemas especiales. Sin embargo, hay un peligro potencial de estabilidad de las costas formadas por acantilados constituidos por materiales incoherentes (no muy significativo).

La playa en la que se encuentra situado el paseo objeto de este proyecto ha sido objeto de una recuperación total con un aporte sustancial de arena, además de que se encuentra confinada de tal forma que queda totalmente resguardada de más del 80% del oleaje anual, siendo el oleaje incidente sobre la misma poco significativo, y no influyente en el paseo, incluso en el peor de los escenarios considerados de cambio climático, por tanto, y en referencia a los establecido en el resumen del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, no presentará problemas especiales.



#### 4.1.1. LÍNEAS DE ACTUACIÓN DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN – ZONAS COSTERAS

Ante los problemas acarreados por el cambio climático mencionados anteriormente, a nivel nacional, se plantean una serie de estrategias o líneas de trabajo a llevar a cabo para desarrollar el Plan Nacional de Adaptación y que también son de aplicación a la zona costera objeto de evaluación en el presente anejo, como pueden ser las siguientes:

- Desarrollo de modelos de respuesta morfodinámica y ecológica de las principales unidades de la costa española, bajo distintos escenarios del cambio climático. Puesta en marcha de sistemas de seguimiento y toma de datos sistemática de parámetros para la validación de modelos.
- Cartografía de la vulnerabilidad de la costa española frente al ascenso del NMM bajo distintos escenarios de cambio climático: identificación, delimitación e inventariado de la áreas y elementos más vulnerables por el ascenso del nivel del mar y valoración ecológica de los mismo.
- Evaluación de las estrategias de abandono y retroceso, o de protección frente a distintos escenarios de ascenso del NMM.
- Evaluación de la afección del ascenso del NMM sobre los centros urbanos costeros, en particular de aguas pluviales y de saneamiento.

#### 4.2. PLAN DE ADAPTACIÓN DE CANARIAS AL CAMBIO CLIMÁTICO – ZONAS COSTERAS

A nivel autonómico, el Plan de Adaptación de Canarias al Cambio Climático recoge una serie de medidas de aplicación para los entornos costeros con el fin de paliar o minimizar los posibles efectos adversos que se derivan de los cambios climáticos. A continuación, se enumeran las distintas medidas incluidas en dicho Plan de Adaptación en función de su tipo y que son de aplicación a la zona objeto de evaluación en el presente anejo.

##### 1. Medidas de planificación:

- a) Revisión de la normativa que afecta a las zonas costeras para integrar en la misma las proyecciones de futuro de la dinámica costera canaria y sus efectos asociados, así como las posibles medidas de adaptación. Se propone también la elaboración y aprobación de las directrices de Ordenación del litoral, tal y como disponen las Directrices de Ordenación general de Canarias.

##### 2. Medidas de comunicación, formación y sensibilización:

- a) Campañas de sensibilización y comunicación al ciudadano sobre las variaciones previsibles en el litoral por efectos del cambio climático, especialmente destinado a los asentamientos litorales.

##### 3. Medidas de investigación, desarrollo e innovación:

- a) Estudio detallado del estado actual de la costa canaria, mediante identificación de áreas homogéneas, partiendo de la base de los diferentes trabajos técnicos que han venido siendo elaborados relativos a la costa de Canarias que sirva como elemento de diagnóstico previo de cara a evaluar posteriormente los efectos del cambio climático en el litoral canario.
- b) Las variaciones que tengan lugar en la zona costera influirán directamente en multitud de sectores y sistemas. Por ello, una vez finalizados los estudios que detallen el estado actual de la costa y su evolución futura, se habrá de identificar los impactos futuros en todos los sectores afectados por las modificaciones en la costa como por ejemplo el refuerzo de defensas costeras, adaptación de las infraestructuras a vientos costeros más intensos, protección de elementos más sensibles del litoral, etc.

Para ello se deberá hacer una recopilación del conocimiento sobre la dinámica marina actual a nivel de Canarias y trabajos que aborden las tendencias para el futuro, especialmente los resultados definitivos del proyecto C3E. Con la metodología de trabajo de dichos informes se elaborará un estudio detallado en base a los escenarios futuros para toda la costa canaria. Se hará también una evaluación posterior de las modificaciones físicas a lo largo de la línea de costa para este siglo para que sirvan de puntos de partida de los estudios en detalle en los sectores que se vean afectados por las modificaciones del litoral.

Las medidas identificadas deberán contar con una estimación económica y viabilidad de las mismas de cara a establecer prioridades de actuación y un cronograma de actuaciones que permitan abordar de manera efectiva todas las propuestas.

- c) Establecimiento del 0 de altitud para la costa de Canarias. En la actualidad es difícil determinar cuál es la cota 0 del litoral canario. Por ello se considera imprescindible llevar a cabo los estudios necesarios para su establecimiento.
- d) Implantación de repositorios de datos georreferenciados de las zonas costeras afectadas por la modificación de los parámetros físicos debidos al cambio climático. Entre otros, deberá recoger:
  - i. Incremento de la temperatura.

- ii. Incremento de lluvias torrenciales.
- iii. Incremento de la velocidad del viento.
- iv. Cambios en la dinámica marina y nivel del mar.

4. Medidas de seguimiento, información y evaluación.

- a) Identificación y establecimiento de indicadores para facilitar el seguimiento y la evolución de los impactos del cambio climático en la costa del archipiélago canario.

## 5. CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis pormenorizado de todas las variables que se ven influidas y modificadas por el cambio climático, podemos concluir lo siguiente:

1. La ubicación del paseo y las características de la nueva playa, recientemente acondicionada mediante un importante aporte de arena y excavación de la roca existente, hacen que las pequeñas modificaciones climáticas provocadas por el cambio climático durante la vida útil del paseo no afecten de manera alguna al mismo.
2. La modificación sustancial del clima marino no se prevé que sea excesiva, con lo que su afección a las obras proyectadas en este proyecto será, por los motivos anteriormente comentados, baja o muy baja.

