



## ANEJO 06: CAMBIO CLIMÁTICO

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	2
2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA	3
3. PROYECTO CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA ESPAÑOLA	4
4. COTA DE INUNDACIÓN	10
5. BIBLIOGRAFÍA	14

## 1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se va a tratar el cambio climático a nivel de nuestras costas. Para ello se va a explicar qué es el IPCC, que datos proporciona, que escenarios plantea y las medidas que proponen. Una vez obtenido estos datos se analizará el efecto que proporciona en el tramo de estudio y se sacará unas conclusiones.

Primero de todo hay que definir que es el cambio climático para poder abordar el anejo con mayor claridad.

Según el IPCC el cambio climático es *“Cualquier cambio en el clima con el tiempo debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.”* (CAMBIO CLIMÁTICO - IDEAM, s. f.). De una forma más precisa la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), lo define como *“Un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.”* (CAMBIO CLIMÁTICO - IDEAM, s. f.).

Una vez que se ha definido el cambio climático es imprescindible saber que organismos son los que tratan y analizan los efectos del cambio climático. El que se va a emplear en este proyecto es principalmente el IPCC. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en el año 1988 y tiene la función de *“proporcionar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta.”* (Cambio climático costa Española.pdf, s. f.).

A día de hoy, el IPCC ha generado cinco informes de evaluación, el último de todos publicado recientemente (AR5).

Antes de la creación del AR5 el IPCC creó un nuevo conjunto de escenarios que tenían como objetivo proyectar el clima hacia el futuro empleando nuevos modelos numéricos y una nueva disposición de la obtención de datos. Estos escenarios son los denominados RCP: Rutas Representativas de Concentración y sirven de base al Quinto Informe de Evaluación. Estos nuevos escenarios tienen un funcionamiento con un objetivo claro, *“tratan de asegurar una mejor integración entre los forzamientos socioeconómicos, los cambios en el sistema climático y la vulnerabilidad del sistema natural y humano.”* (Cambio climático costa Española.pdf, s. f.)

Por ello como nos muestra el documento del cambio climático en la costa Española: *“no se plantean escenarios socioeconómicos que dan lugar a diferentes tasas de emisión de gases de efecto invernadero, sino que como punto inicial se toman diferentes alternativas de emisiones de gases de efecto invernadero: un escenario de bajas emisiones en el que se alcanza el pico a mitad del siglo XXI (RCP2.6); un escenario cuyos forzamientos radiativos se estabilizan antes de 2100 (RCP4.5); un escenario en el que los forzamientos radiativos se estabilizan después de 2100 (RCP6.0) y un último escenario representativo de altas concentraciones de gases de efecto invernadero (RCP8.5).”* (Cambio climático costa Española.pdf, s. f.)

ESCENARIOS DE EMISIONES	TRAYECTORIA REPRESENTATIVA DE CONCENTRACIONES (RCP)	CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> EN 2100 (ppm)	INCREMENTO DE TEMPERATURA (°C)	AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR (m)					
			2081 - 2100	2046 - 2065	2100	ESCENARIO	2200	2300	2500
BAJO	2.6	421	1.0 [0.3 - 1.7]	0.24 [0.17 - 0.32]	0.44 [0.28 - 0.61]	BAJO	0.35 - 0.72	0.41 - 0.85	0.50 - 1.02
MEDIO BAJO	4.5	538	1.8 [1.1 - 2.6]	0.26 [0.19 - 0.33]	0.53 [0.36 - 0.71]	MEDIO	0.26 - 1.09	0.27 - 1.51	0.18 - 2.32
MEDIO ALTO	6.0	670	2.2 [1.4 - 3.1]	0.25 [0.18 - 0.32]	0.55 [0.38 - 0.73]	ALTO	0.58 - 2.03	0.92 - 3.59	1.51 - 6.63
ALTO	8.5	936	3.7 [2.6 - 4.8]	0.29 [0.22 - 0.38]	0.74 [0.52 - 0.98]				

Tabla 1: Diferentes escenarios de emisiones (Fuente: Cambio climático costa española).

La Tabla 1 que muestra los diferentes escenarios que plantea el IPCC, muestra los diferentes parámetros con los que se define cada RCP y sus rangos de emisiones, de incremento de temperatura y del aumento del nivel del mar.

Hay que remarcar que los escenarios RCP se basan en lo que va a ser el calentamiento global basándose en las emisiones futuras. Estas emisiones futuras están calificadas de la A a la D, siendo la A la situación actual de emisiones de CO<sub>2</sub> y la D la situación de mayor que más CO<sub>2</sub> emite a la atmosfera.

En este anejo se van a analizar solamente dos escenarios con ayuda del visor C3E Cantabria. Estos escenarios van a ser el RCP4.5 (Medio Bajo) y el RCP8.5 (Alto). Estos dos escenarios se analizarán en el periodo de 2081 y 2100, siendo estos los que muestran los efectos más desfavorables del cambio climático en este intervalo de años.

## 2. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA

Analizando los últimos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC), que se han mencionado con anterioridad, muestran diversas evidencias que avalan que el calentamiento global y los efectos que genera son inequívocos.

Por todo esto es imprescindible realizar un estudio detallado de los cambios generados por el calentamiento global, para poder evaluar los efectos actuales y los efectos que se producirán a medio y largo plazo, y así poder proyectar, adaptar y ajustar las actuaciones a estos cambios. Por esa razón se van a analizar los cambios en el nivel del mar, junto al cambio en la altura de ola y los cambios en las direcciones del oleaje de los dos escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Según el estudio “Impactos en la costa española por efecto del cambio climático” se concluye los siguientes efectos que se producirán en las playas españolas:

- Variación en la cota de inundación que conllevará un retroceso o un avance de la línea de costa.
- Aumento de la cota de inundación, producida por el aumento del nivel del mar.
- Variaciones en el transporte de sedimentos, en el equilibrio o desequilibrios de las playas.

### 3. PROYECTO CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA ESPAÑOLA (C3E)

El proyecto Cambio Climático en la Costa Española (C3E) está promovido por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para poder realizar un diagnóstico sobre los efectos del cambio climático a nivel estatal.

Este proyecto emplea los diferentes escenarios RCP que genera y plantea el IPCC. Con estos escenarios analiza los factores relacionados con el clima a nivel nacional. Estos factores son:

- Nivel medio del mar regional.

Los escenarios que se van a estudiar han sido regionalizados para todo el mundo, siendo el RCP4.5 el escenario moderado y el RCP8.5 el escenario que representa altas cantidades de emisión de gases que provocan el efecto invernadero.

Para llevar a cabo la regionalización el C3E indica que *“se ha hecho combinando los procesos de cambios en la circulación oceánica y aumento de absorción de calor y presión atmosférica incluidos en los modelos climáticos de la fase 5 del proyecto WRCP Coupled Model Intercomparison Project, CMIP5 (Taylor et al. 2012) con los resultados de modelos y observaciones regionales de contribución de hielo, disminución de aguas subterráneas y reajuste por isostasia glaciar, incluyendo efectos gravitacionales debidos a la redistribución de masa.”* (Cambio climático costa Española.pdf, s. f.). Es decir, que se han combinado diferentes causas que contribuyen al cambio climático o son causas de este para poder analizar y plantear una predicción de lo que pasará en el periodo 2081-2100 en el litoral español, como se observa en la siguiente ilustración.

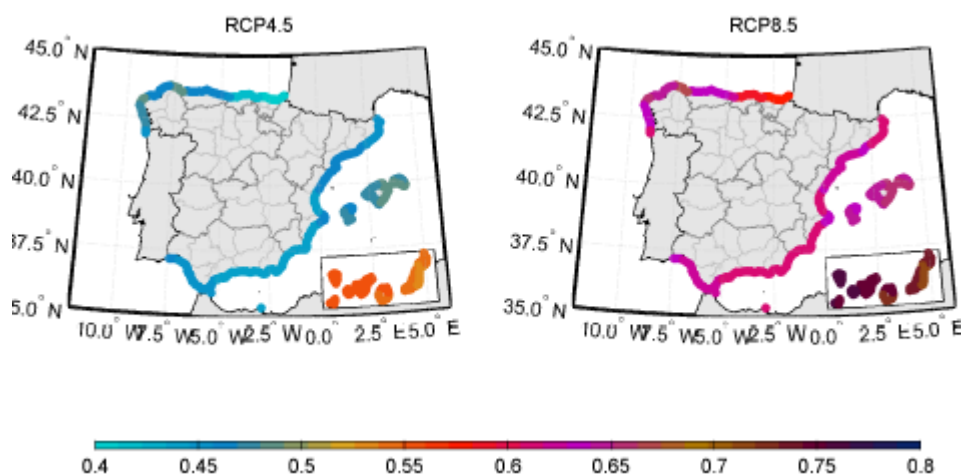


Figura 1: Aumento del nivel, medio regional, del mar en el periodo 2081-2100 RCP4.5 y RCP8.5 (Fuente: Cambio climático costa española)

Como se aprecia en la ilustración 1 en la costa del mediterráneo, más exactamente en la región de Denia, se muestra un aumento del nivel del mar de 0,45 metros en el escenario RCP4.5 y un aumento de entre 0,6 y 0,65 metros en el escenario RCP8.5.

### - Nivel medio del mar local.

Para poder obtener el nivel medio del mar local hay que añadir los movimientos verticales que se producen en la corteza terrestre que no han sido considerados en el apartado anterior.

Estos movimientos que no han sido considerados se deben a lo que se denomina subsidencia. Esta subsidencia que se debe al aporte natural de sedimentos en la desembocadura de los ríos es en el río Ebro de entre 2 a 6 mm/año.

Considerando la anterior regionalización y a la subsidencia estos son las predicciones de los diferentes escenarios.

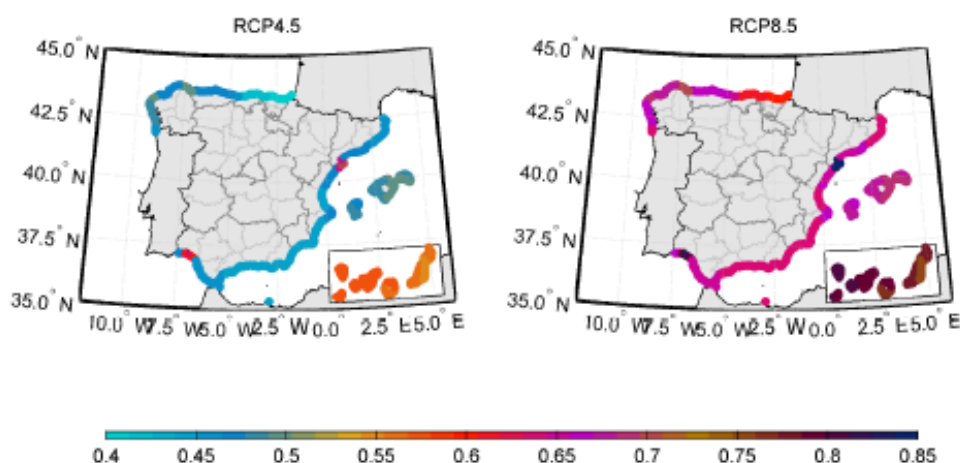


Figura 2: Aumento del nivel del mar, medio local, en el periodo 2081-2100 RCP4.5 y RCP8.5 (Fuente: Cambio climático costa española)

Se aprecia un aumento del nivel del mar en las partes de las desembocaduras de los grandes ríos como podría ser el Ebro, pero a nivel del tramo de estudio del proyecto no se aprecia una gran diferencia.

### - Extremo de nivel del mar

Los niveles extremos del mar están asociados a la marea astronómica, aunque se considera que la principal causa de este nivel se alcanza con la marea meteorológica. Esta marea tiene un periodo de retorno de 50 años y provoca en el mediterráneo un aumento de aproximadamente 30-50 centímetros.

Esta marea que está directamente relacionada con condiciones atmosféricas inestable, muestra una leve disminución en los últimos 60 años. En la Ilustración n3 se muestra la marea astronómica asociada a 50 años de periodo de retorno (Figura de la izquierda) y la marea astronómica asociada a los últimos 60 años.

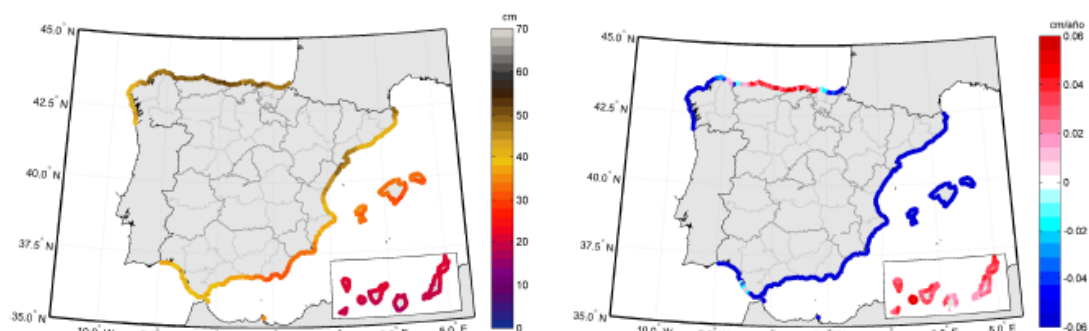


Figura 3: Marea astronómica de periodo de retorno 50 años y la observada en los últimos 60 años. (Fuente: Cambio climático costa española)

Las proyecciones realizadas para los escenarios IPCC en las costas españolas muestra hasta un 50% de disminución en los eventos extremos asociados a la marea meteorológica.

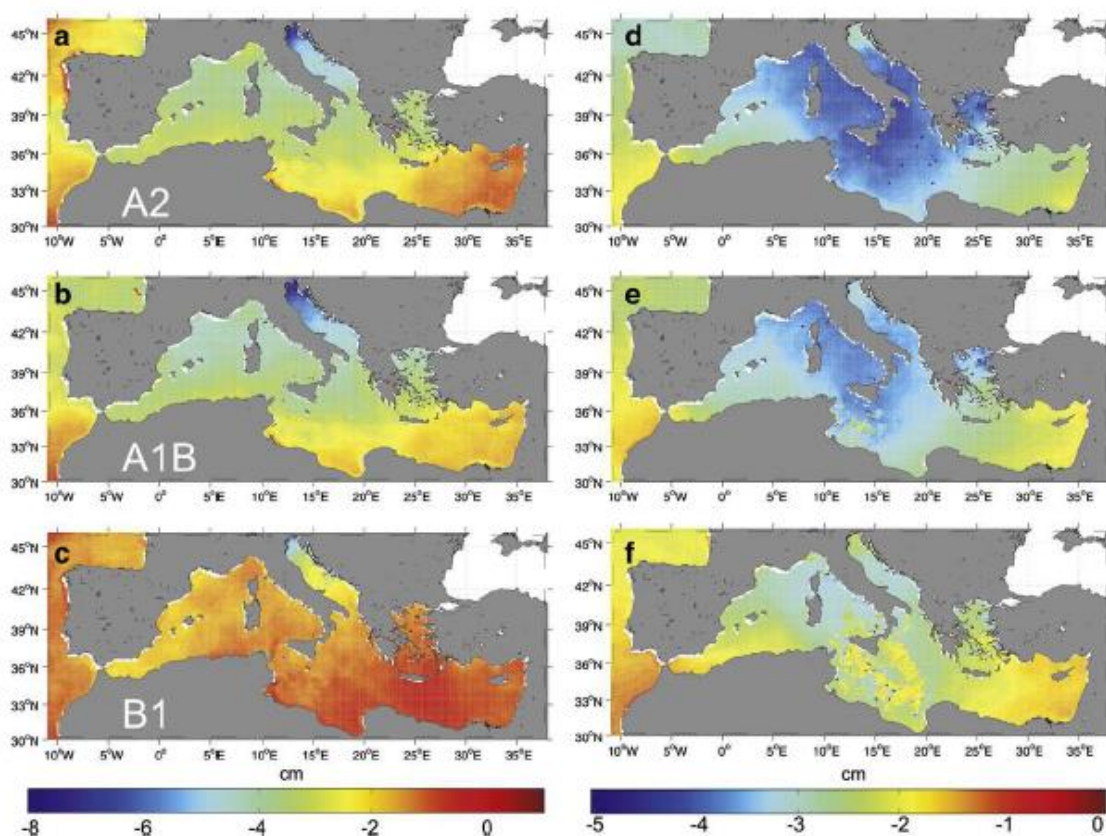


Figura 4: Cambios en cm en el cuantil de marea meteorológica. (Fuente: Cambio climático costa española)

El estudio global en el que se apoya el documento “Cambio climático costa Española” es el que se realizó por Menéndez y Woodworth (2010) a lo largo de mareógrafos de todo el mundo. Este estudio concluye “los principales cambios ocurridos en el último siglo en los extremos de nivel del mar son debidos a los cambios en el nivel medio. En la costa atlántica europea se observan aumentos significativos en los niveles extremos del mar cuando se consideran la marea astronómica y meteorológica. Sin embargo, al hacer el estudio únicamente para la marea meteorológica no se observan cambios significativos, lo que indica que los cambios en los niveles extremos se pueden atribuir a la variabilidad climática natural junto con la subida del nivel medio del mar.”(Cambio climático costa Española.pdf, s. f.).



Es decir, que, si se considera la marea meteorológica independientemente de la marea astronómica, se va a apreciar una disminución en el nivel extremo del mar, aunque si se estudiasen juntas se apreciaría un aumento de este.

#### - Temperatura superficial del agua del mar.

En las ilustraciones siguientes se puede apreciar cómo se va aumentando la temperatura media tanto de los mares como de los océanos en el año 2100. Este aumento de temperatura también se ve reflejado en la superficie terrestre de mayor medida.

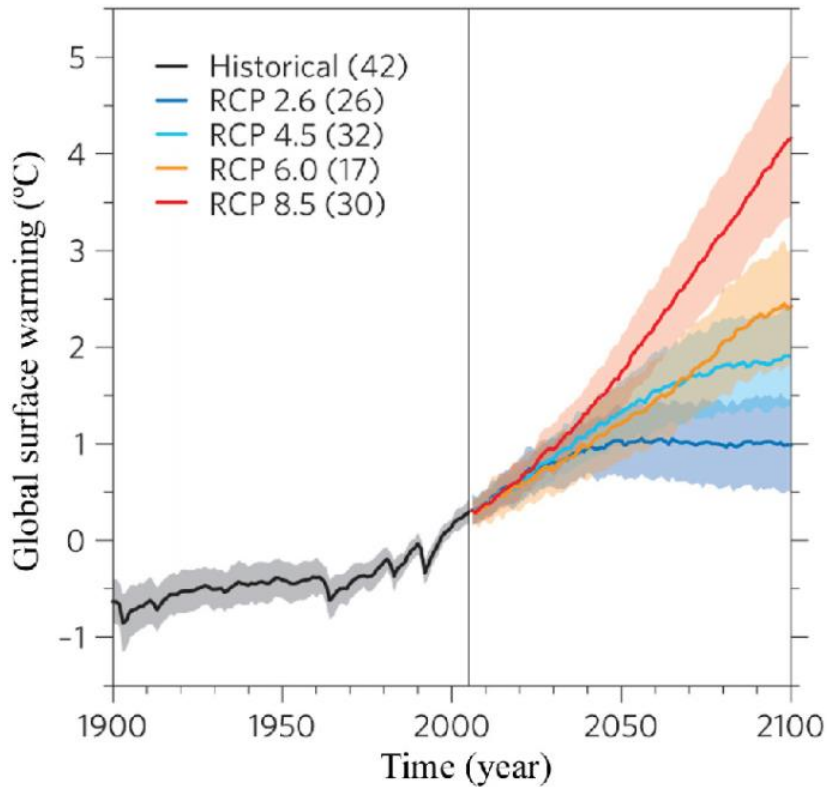


Ilustración 5: Aumento de la temperatura en los diferentes escenarios (Fuente: IPCC)



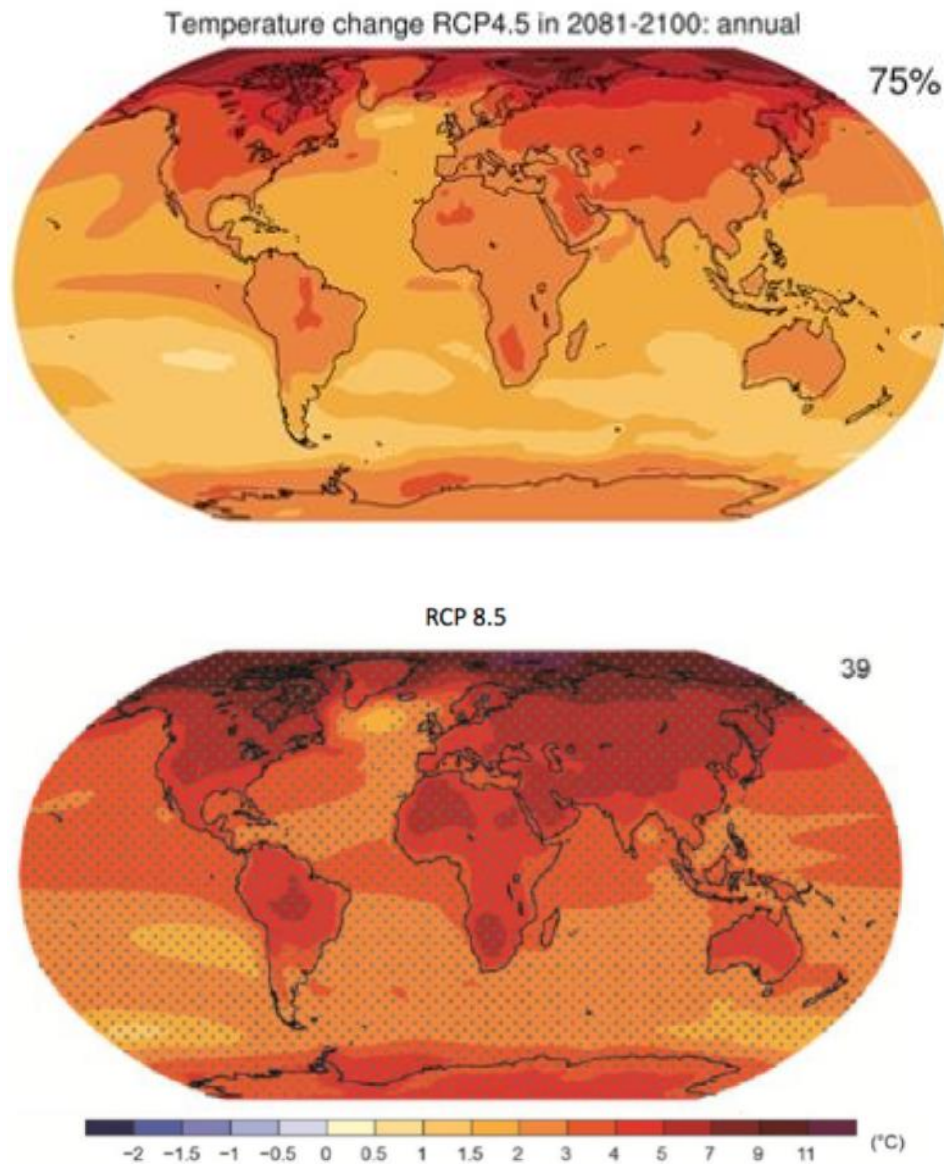


Figura 6: Aumento de la temperatura en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (Fuente: IPCC)

El escenario RCP4.5 muestra un aumento de 2°C de temperatura en los mares y un aumento de aproximadamente 3,5°C de la superficie terrestre.

Por otro lado, el escenario RCP8.5 al ser más desfavorable y extremo muestra un aumento de 4°C en la temperatura del mar y un aumento de 7°C en la temperatura de la superficie terrestre.

Estos han sido los factores más importantes a la hora de interpretar los efectos del cambio climático proyectados por C3E, aunque no son los únicos.

Tras el análisis de estos factores se va a analizar la predicción que ha proporcionado cada uno de los escenarios diferentes de IPCC.

ESCENARIOS DE EMISIONES	TRAYECTORIA REPRESENTATIVA DE CONCENTRACIONES (RCP)	CONCENTRACIÓN DE CO <sub>2</sub> EN 2100 (ppm)	INCREMENTO DE TEMPERATURA (°C)	AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR (m)					
			2081 - 2100	2046 - 2065	2100	ESCENARIO	2200	2300	2500
BAJO	2.6	421	1.0 [0.3 - 1.7]	0.24 [0.17 - 0.32]	0.44 [0.28 - 0.61]	BAJO	0.35 - 0.72	0.41 - 0.85	0.50 - 1.02
MEDIO BAJO	4.5	538	1.8 [1.1 - 2.6]	0.26 [0.19 - 0.33]	0.53 [0.36 - 0.71]	MEDIO	0.26 - 1.09	0.27 - 1.51	0.18 - 2.32
MEDIO ALTO	6.0	670	2.2 [1.4 - 3.1]	0.25 [0.18 - 0.32]	0.55 [0.38 - 0.73]	ALTO	0.58 - 2.03	0.92 - 3.59	1.51 - 6.63
ALTO	8.5	936	3.7 [2.6 - 4.8]	0.29 [0.22 - 0.38]	0.74 [0.52 - 0.98]				

Tabla 2: Diferentes escenarios de emisiones (Fuente: Cambio climático costa española).

Como bien se aprecia en la tabla, el aumento del nivel del mar a nivel global para el RCP4.5 será de aproximadamente 0.53 metros en 2100. Esto se ajusta bastante a los datos obtenidos por el C3E, al igual que el aumento en el escenario RCP8.5 será de 0,74 metros aproximadamente en el mismo año.

Respecto al aumento de temperatura, la tabla muestra valores un poco inferiores a los que se han analizado con el C3E. En el escenario RCP4.5 se muestra un aumento de 2,6°C en el año 2100 y en el escenario RCP8.5 un aumento de 4.8°C. Esta tabla no diferencia entre el aumento de temperatura que sufre el mar y el que sufre la superficie terrestre.

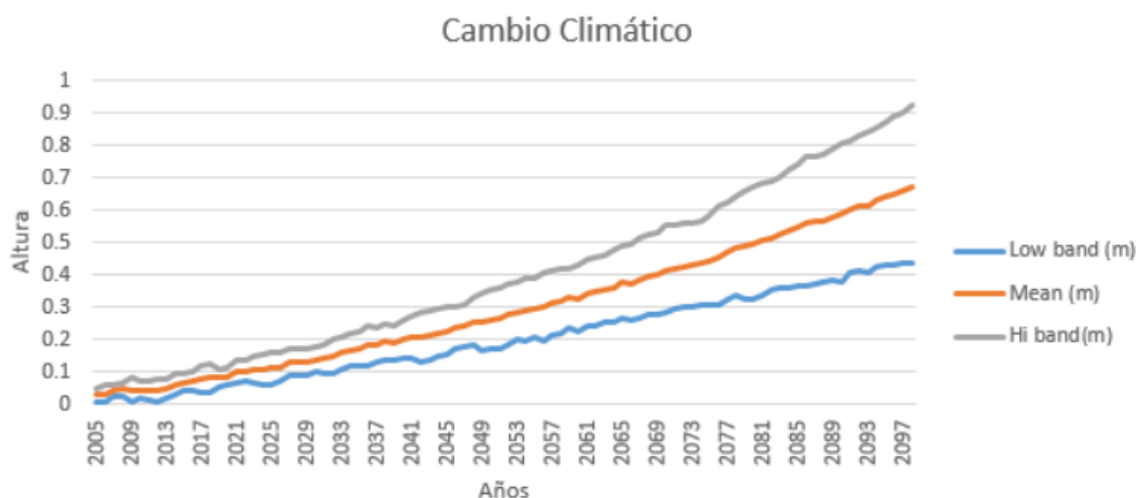


Figura 7: Altura debido al cambio climático C3E. (Fuente: Jorge Molinés Llodrá)

Esta gráfica es la representación del Excel proporcionado por el tutor Jorge Molines Llodrá. Este Excel muestra la altura de del nivel del mar debido al cambio climático en un periodo de alrededor de 100 años en el escenario RCP8.5, por lo que el High Band es un similar a lo obtenido con anterioridad en dicho escenario.

Por lo que se puede concluir que el análisis que se ha realizado a lo largo del anejo es comparable a la predicción de los escenarios que proporciona IPCC. Esto es debido a que el C3E emplea los escenarios proyectados por IPCC para realizar los diagnósticos a nivel estatal.

## 4. COTA DE INUNDACIÓN

Una inundación es un fenómeno natural que sucede por diversas causas y se produce cuando el nivel del agua alcanza una altura máxima en ríos, mares y lagos. Esta altura de agua cubre zonas que de normal están sin presencia de agua de forma continuada o secas. Por esta razón es importante determinar la cota de inundación, ya que es de vital para el estudio de la viabilidad de las actuaciones que se ejecutan y se proyectan en las cercanías de masas de agua o en los cauces de los ríos.

En este proyecto se ha de determinar dicha cota para que las soluciones planteadas estén protegidas frente a estas inundaciones provocadas generalmente por los temporales propios del litoral de Levante.

La cota de inundación se calcula mediante el siguiente procedimiento:

$$CI = 0,2 * Hs + CC + CM$$

- CI: Cota de Inundación (m).
- Hs: Altura de ola significativa.
- CC: Altura originada por el Cambio Climático.
- CM: Carrea de Marea (Marea Meteorológica + Marea Astronómica).

Para poder obtener la **carrea de marea** del tramo de costa se ha empleado el Mareógrafo de Gandía. Este mareógrafo es el más cercano al municipio de Denia y muestra sus datos en la página web de Puertos del Estado.



Figura 8: Distancia Mareógrafo Gandía con tramo de estudio (Fuente: Puertos del Estado)

Los datos más recientes proporcionados por el mareógrafo de Gandía son de 2019. Debido a que no hay datos publicados del año 2020 se van a emplear los siguientes:

### Extremos en Gandía (2019)

Extremos de niveles cada 5 min (cm):

Mes	Máximo	Dia	Minimo	Dia
Ene	18.7	(20)	-21.8	( 2)
Feb	26.2	( 1)	-29.8	(22)
Mar	16.3	( 6)	-30.9	(14)
Abr	35.4	(21)	-23.1	(27)
May	17.9	(17)	-18.3	(12)
Jun	19.1	(14)	-17.9	( 1)
Jul	40.5	( 8)	-17.3	( 8)
Ago	23.7	( 1)	-9.9	(27)
Sep	43.4	(12)	-2.9	( 2)
Oct	41.8	(22)	-11.1	(20)
Nov	36.7	(15)	-4.4	( 4)
Dic	51.1	( 4)	-26.7	(23)
<b>2019</b>	<b>51.1</b>	<b>( 4 Dic)</b>	<b>-30.9</b>	<b>(14 Mar)</b>

Tabla 3: Niveles extremos Mareógrafo de Gandía 2019. (Fuente: Puertos del Estado)

En la Tabla 2 se muestra los niveles extremos del mar en la baya de Gandía distribuida por meses. Se aprecia que el máximo nivel del mar se alcanza en el mes de diciembre y es de 51,1 centímetros y el mínimo se alcanza en marzo y es de -39,9 centímetros.

Estos niveles representan la carrea de mareas que tiene la costa de Gandía a lo largo del año, por lo que si consideramos que el tramo de costa sometido a estudio la carrea de marea es prácticamente igual se tiene:

$$CM = 51,1 + 30,9 = 82 \text{ cm}$$

Para obtener la **altura originada por el cambio climático** se van a emplear los datos vistos en este anejo, más exactamente la hoja Excel proporcionada por el tutor Jorge Molines Llodrá, que representa el ascenso del nivel del mar en los próximos años según el escenario RCP8.5. De este Excel se va a usar los valores de "Mean (m)" de la gráfica 1.

Para poder proyectar y diseñar las soluciones de forma que considere este incremento de nivel del mar hay que seleccionar un horizonte temporal y trabajar con esos datos. En este caso se van a establecer como horizonte el año 2050 y el año 2098.

- 2050: Aumenta 0.26 metros.
- 2098: Aumenta 0.67 metros.

Por lo que dependiendo de para que horizonte se estudie se tomará un valor u otro.

Para la obtención de **la altura de ola significativa** se va a emplear los estudios desarrollados en el Anejo 03: CLIMA MARÍTIMO.

En dicho Anejo se concluye que la altura de ola significativa está comprendida entre los valores 0,2 y 0,5 metros, como se muestra en la siguiente tabla:

Dirección	Hs (m)												Total
	≤ 0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	> 5.0	
CALMAS	9.294												9.294
N 0.0		.763	.719	.136	.071	.036	.018	.004	.002	-	-	-	1.749
NNE 22.5		1.668	2.347	1.063	.435	.144	.047	.023	.014	.003	.001	.001	5.748
NE 45.0		5.938	10.145	4.893	1.867	.818	.387	.204	.092	.032	.022	.011	24.410
ENE 67.5		4.519	5.249	1.551	.490	.169	.084	.039	.012	.003	-	-	12.116
E 90.0		4.383	4.135	.880	.235	.093	.025	.006	-	-	-	-	9.757
ESE 112.5		6.678	5.381	.523	.049	.012	.003	.001	.001	-	-	-	12.650
SE 135.0		4.524	2.018	.052	.003	.001	-	-	-	-	-	-	6.599
SSE 157.5		3.882	1.060	.044	.004	-	-	-	-	-	-	-	4.990
S 180.0		1.696	.869	.057	.002	-	-	-	-	-	-	-	2.624
SSW 202.5		.666	.177	.007	-	-	-	-	-	-	-	-	.850
SW 225.0		.502	.121	.005	-	-	-	-	-	-	-	-	.627
WSW 247.5		.404	.123	.006	-	-	-	-	-	-	-	-	.533
W 270.0		.559	.264	.020	.003	.001	-	-	-	-	-	-	.847
WNW 292.5		1.078	.782	.181	.031	.009	.002	-	-	-	-	-	2.082
NW 315.0		1.960	1.201	.230	.075	.021	.006	-	-	-	-	-	3.493
NNW 337.5		.949	.541	.081	.035	.019	.003	.003	-	-	-	-	1.631
Total	9.294	40.169	35.131	9.730	3.299	1.324	.576	.280	.121	.039	.024	.012	100 %

Tabla 4: Tabla Altura Significante (HS) – Dirección de Procedencia % (Fuente: Puertos del Estado)

Como la altura de ola significativa está comprendida entre 0,2 y 0,5 metros se va a seleccionar finalmente 0,3 metros de altura de ola para el estudio de la cota de inundación.

Por lo que finalmente se tiene de cota de inundación:

- Para el año 2050:

$$CI = 0,82 + 0,26 + (0,2 * 0,3) = \mathbf{1,14\ m}$$

- Para el año 2098:

$$CI = 0,82 + 0,67 + (0,2 * 0,3) = \mathbf{1,55\ m}$$



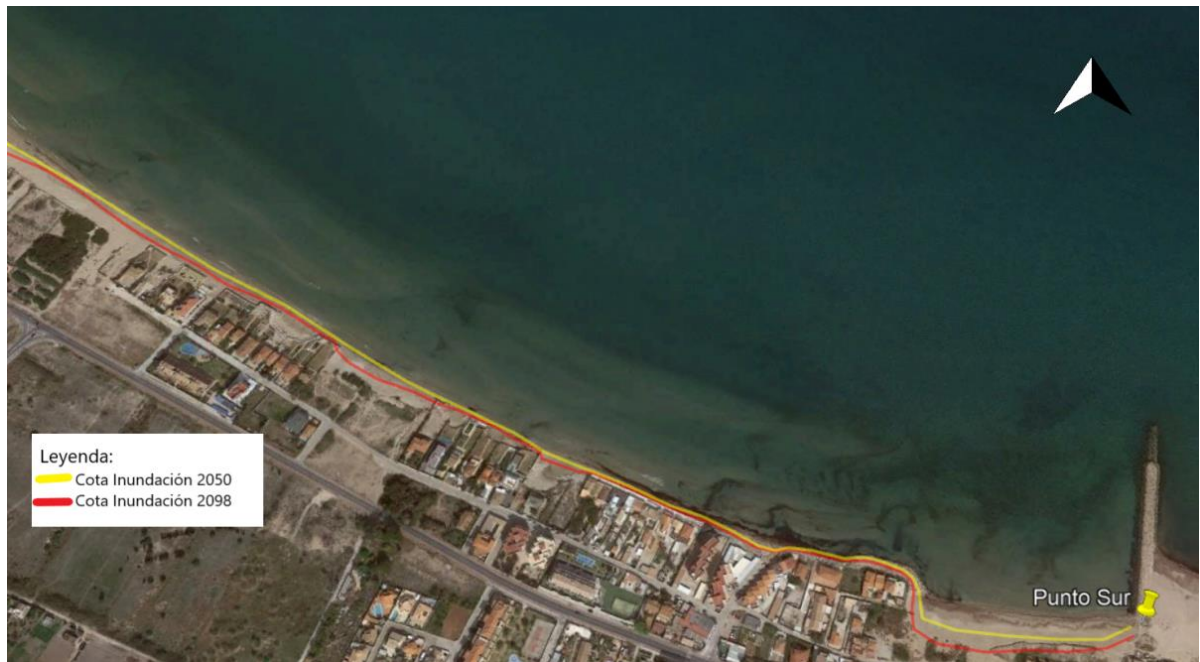


Figura 9: Croquis Cota de Inundación Playa Les Deveses (Fuente: Elaboración propia)

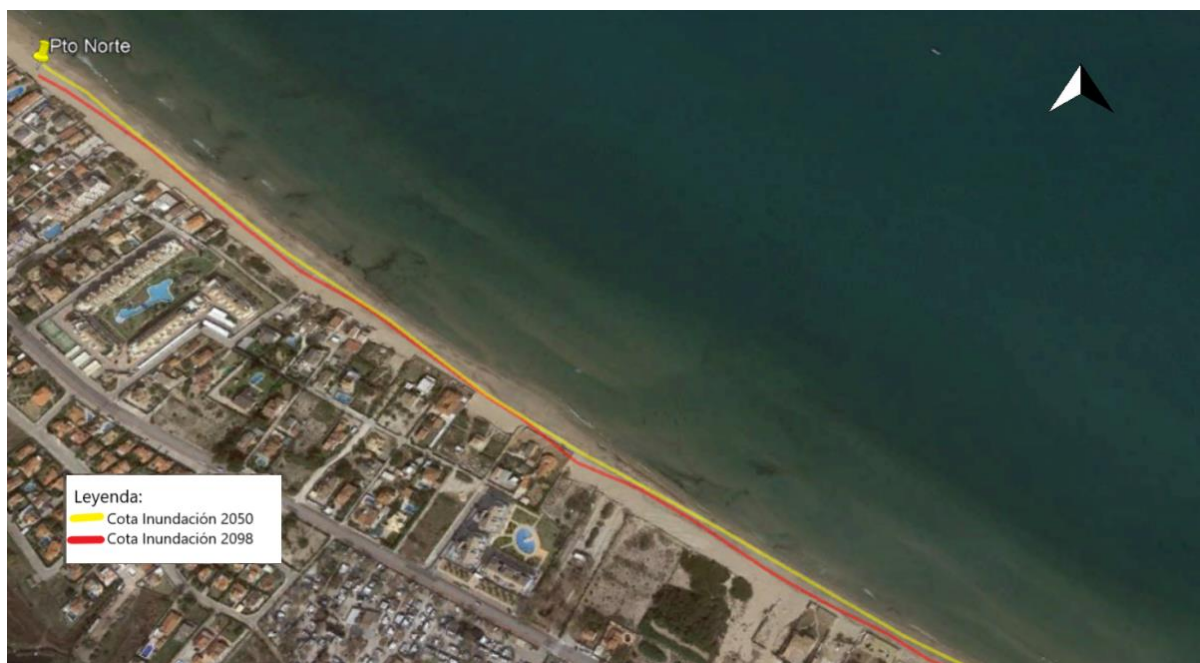


Figura 10: Croquis Cota de Inundación Playa Les Deveses (Fuente: Elaboración propia)

En las anteriores ilustraciones se puede apreciar hasta donde llegaría el agua con la cota de inundación correspondiente al año 2050 y 2098.

En la Ilustración 8 se aprecia que el nivel del agua dejaría prácticamente toda la playa existente bajo el agua. Las edificaciones que se sitúan al lado del espigón no se verían muy afectadas debido a la existencia de los muros y del espigón longitudinal, pero las que están más al norte sí podrían verse comprometidas. En las zonas que no tienen edificaciones el nivel del agua se adentra hasta las dunas existentes.

En la Ilustración 9 el nivel del agua afectaría a pocas edificaciones aisladas, y no dejaría toda la playa sumergida. Esto es debido a que la anchura de la playa en este tramo es mayor y las edificaciones se sitúan un poco más alejadas de la línea de costa.

Si comparamos estas cotas de inundación con el perfil de la playa que se obtiene en el Anejo 08: GEOLOGÍA, GEOTÉCNIA Y SEDIMENTACIÓN se puede apreciar como quedaría la playa sumergida y emergida.

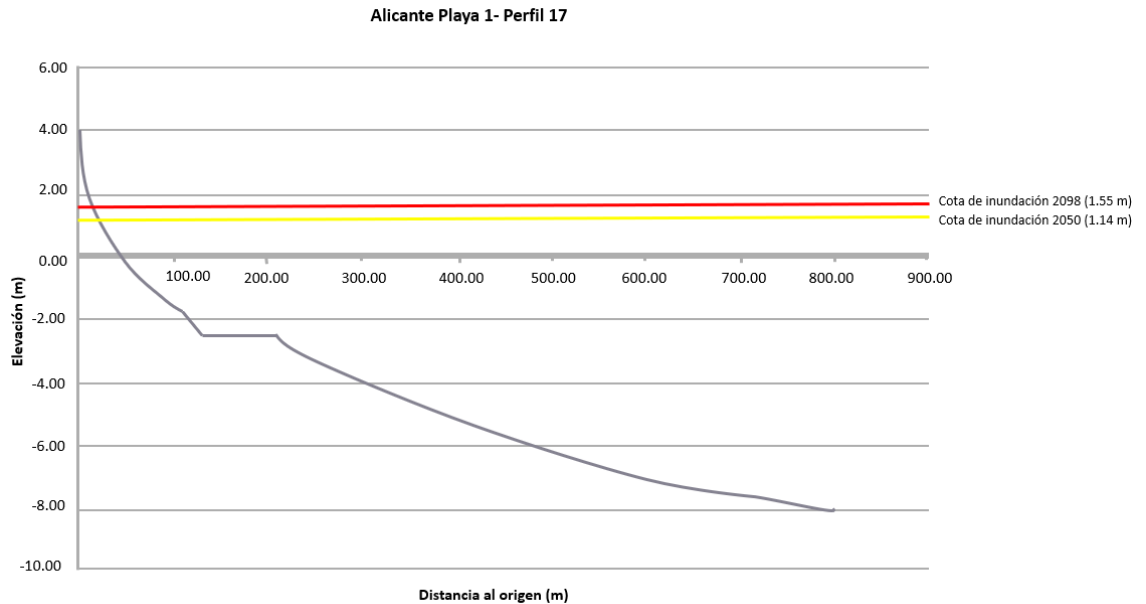


Figura 11: Croquis perfil de playa con cota de inundación. (Fuente: Elaboración propia)

## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. *Atlas of Global and Regional Climate Projections—IPCC*. (1 de septiembre de 2021). Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/atlas-of-global-and-regional-climate-projections/>
2. *CAMBIO CLIMÁTICO - IDEAM*. (31 de agosto de 2021). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>
3. DIRECCIÓN GENERAL DE SOSTENIBILIDAD DE LA COSTA Y DEL MAR (2016) *Cambio climático costa Española* [Archivo PDF].
4. ALONSO HERAS, J. (2018). *Proyecto Les Deveses*. [Archivo PDF].
5. *VISOR C3E*. (28 de agosto de 2021). Recuperado, de <https://c3e.ihcantabria.com/>



