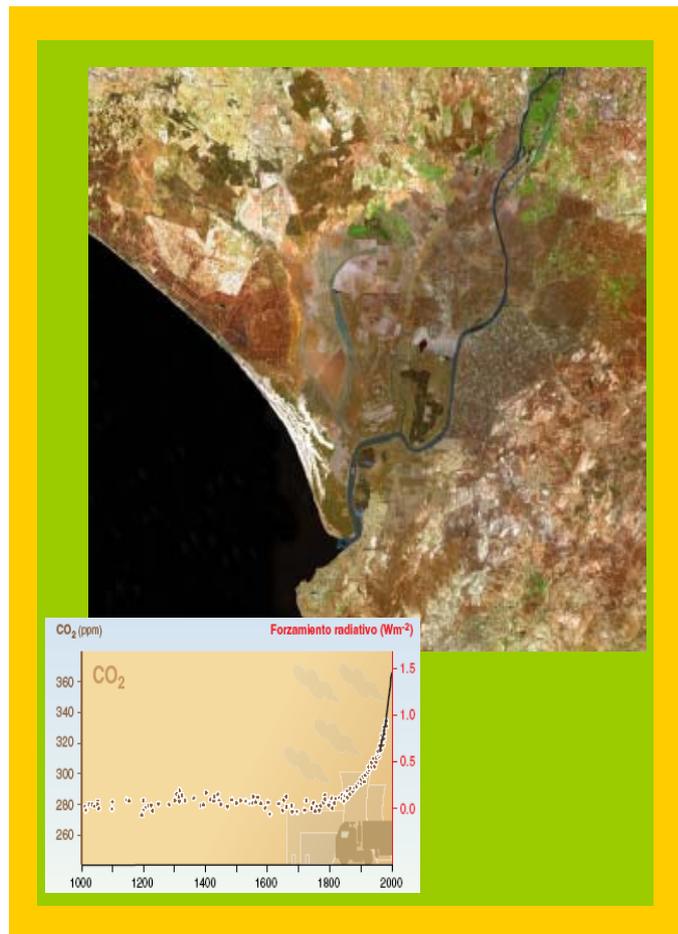




Doñana y cambio climático:

Propuestas para la mitigación de los efectos



Enero de 2006

**Doñana y cambio climático:
Propuestas para la mitigación de los efectos**

© **WWF/Adena**

Gran Vía de San Francisco, 8-D

28005 Madrid

Tel.: 91 354 05 78

Fax: 91 265 63 36

www.wwf.es

info@wwf.es

Texto: Miriam Fernández & Francisco Borja Barrera. Universidad de Huelva

Enero 2006

*WWF/Adena agradece la reproducción del contenido
del presente informe, siempre y cuando se cite la fuente*

Tabla de Contenidos

1	Motivación para este Informe	2
2	Introducción General	2
2.1	Cambio climático y Cambio Climático Inducido (CCI).....	2
2.1.1	Cambio Climático Inducido y <i>Antropización</i> del sistema natural.....	3
2.1.2	Objetivos y aspectos conceptuales y de método.....	4
3	Bases ecológicas para la Evaluación del CCI en Doñana	7
3.1	Contexto genético-evolutivo del área de Doñana: el sistema playa-duna-humedal	7
3.2	El gran ecosistema fluvio-litoral de Doñana. Un enfoque ecorregional.....	9
4	Evaluación de Escenarios del CCI. Modelos y Ámbitos de Referencia.....	13
4.1	Antecedentes.....	13
4.2	Marco de referencia regional.....	14
4.2.1	Modelos y escenarios	14
4.2.2	Ámbito Mediterráneo	15
4.2.3	Ámbito Peninsular	15
5	Resultados y Discusión: Efectos del CCI en Doñana	17
5.1	Proyecciones para Doñana según el marco regional	17
5.1.1	Variación de las temperaturas.....	17
5.1.2	Variación de las precipitaciones.....	19
5.1.3	Variaciones de otros parámetros climáticos.....	20
5.1.4	Cambios del nivel relativo del mar.....	21
5.2	Efectos del CCI sobre los componentes del sistema natural de Doñana.....	22
5.2.1	Efectos sobre el Hidrosistema	23
5.2.1.1	Efectos sobre las aguas superficiales.....	23
5.2.1.2	Efectos sobre las aguas freáticas	25
5.2.2	Efectos sobre el Morfosistema	27
5.2.2.1	El morfosistema aluvial.....	27
5.2.2.2	El morfosistema mareal.....	28
5.2.2.3	El morfosistema eólico	29
5.2.2.4	El morfosistema costero	30
5.2.3	Efectos sobre el Edafosistema	31
5.3	Evaluación de efectos del CCI sobre los ecosistemas de Doñana.....	32
5.3.1	Ecosistemas Aluviales	34
5.3.2	4.3.2. Ecosistemas de Marismas.....	34
5.3.2.1	Marisma Interna Antigua.....	34
5.3.2.2	Marisma Interna Reciente del Guadalquivir y de la Rocina-Guadamar.	35
5.3.2.3	Marisma Externa mareal.....	36
5.3.2.4	Vera y Retuerta.....	36
5.3.3	Ecosistemas de Mantos Eólicos Litorales	37
5.3.3.1	Bajo Manto Eólico de Dunas Fitoestables (BME)	37
5.3.3.2	Alto Manto Eólico Húmedo de Dunas Fitoestables (AMEh).....	38
5.3.3.3	Alto Manto Eólico Seco de Dunas Fitoestables (AMEs).	40
5.3.3.4	Manto Eólico de Dunas Semiestables.	40
5.3.3.5	Manto Eólico de Dunas Activas	40
5.3.4	Ecosistemas de Playas	41

5.3.4.1	Playas Antiguas	41
5.3.4.2	Playas actuales.....	41
6	Conclusiones generales: El impacto del CCI sobre Doñana.....	42
7	Propuestas de Adaptación/Minimización ante el CCI para Doñana.....	44
7.1	Campo Estratégico para el mantenimiento de la diversidad ecológica	46
7.1.1	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales:	46
7.1.2	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos.....	46
7.1.3	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales	47
7.2	Campo Estratégico para desarrollo de opciones de diversificación socio-económica.....	48
7.2.1	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales	48
7.2.2	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos.....	49
7.2.3	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales.....	49
7.3	Campo estratégico para implementación de modelos de gestión adaptable... 50	
7.3.1	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales.	50
7.3.2	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos.....	50
7.3.3	Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales.....	51
8	Bibliografía.....	53
9	ANEXO II.....	59
10	ANEXO III.....	63

Doñana y cambio climático: Propuestas para la mitigación de los efectos

Enero de 2006

1 Motivación para este Informe

WWF/Adena lleva más de 40 años trabajando para la conservación de Doñana. En este tiempo hemos afrontado la compra de terrenos para la conservación, retos urgentes, conflictos sociales y cambios significativos en la gestión del espacio natural. Entendemos que el cambio climático está siendo uno de los factores condicionantes para el futuro de Doñana y por ello nuestra organización ha querido afrontar este asunto con un estudio específico.

Doñana ha sido y será siempre un espacio dinámico y el estudio que la Universidad de Huelva ha elaborado para WWF/Adena ayudará a prever los cambios que a causa del cambio climático podrán tener lugar en Doñana: cambios en el régimen hídrico, los ecosistemas y las especies. Pero sobretodo, WWF/Adena quiere identificar las políticas y medidas de gestión que sean necesarias para mantener los valores naturales de Doñana en este contexto de cambio, destacando en especial aquellas que sea necesario llevar a cabo de forma inminente para minimizar los efectos del cambio climático sobre el espacio natural.

Tenemos la certeza que ante la importancia que para Doñana podría tener el cambio climático, los gestores del Parque Nacional y su entorno tendrán en cuenta las medidas desarrolladas en este estudio y promoverán una gestión sostenible, que desde el presente afronte los retos que se plantean para el futuro.

2 Introducción General

2.1 Cambio climático y Cambio Climático Inducido (CCI)

Los estudios paleogeográficos llevan décadas poniendo de manifiesto que el cambio climático es algo inherente a la evolución de la Tierra, así como una constante en la historia de la Humanidad. Si el enfriamiento generalizado del clima del final de la era Terciaria condujo a una “savanización” de las latitudes medias del planeta y condicionó el proceso de dispersión del nuevo género de los homínidos por el viejo mundo, la alternancia de épocas frías y cálidas del periodo Pleistoceno influyó de manera incontestable en el proceso de *humanización*¹ de nuestros antepasados cazadores-recolectores. Al Holoceno, por su parte, se asocia no sólo la última mejoría climática global y la más rápida remontada marina registrada en los últimos ciento y pico mil años, sino asimismo la más intensa transformación de la superficie terrestre jamás ocurrida al margen de eventos catastróficos de orden planetario. Se trata de algo tan específico o más de la última etapa de la evolución del planeta que la mencionada bonanza climática o su correlativo ascenso del nivel del mar, algo que, en su conjunto, puede definirse como la *antropización*² del medio natural.

Este proceso de transformación de la superficie terrestre debido a la acción humana se evidencia claramente a partir de la difusión del modo de producción agrícola puesto en marcha por una parte de la Humanidad con el inicio del Neolítico, llegando a ser absolutamente determinante tras la denominada Revolución Industrial en aspectos tales como la pérdida de biodiversidad, el

¹ El proceso de *humanización* de nuestra especie se define como aquel a partir del cual la herencia cultural transmitida a través del lenguaje empieza a ser, frente a la herencia genética, cada vez más importante para nuestra supervivencia.

² La *Antropización* hace referencia al proceso global de transformación del medio natural debido a la acción del ser humano sobre la superficie terrestre, puede equipararse por tanto lo que Dolman *et al.* (2003) definen como el *Global Environmental Change*.

incremento de los procesos de desertificación o la caracterización actual del clima planetario. Tales cambios en el funcionamiento de la superficie terrestre no responden, ni por su génesis ni por la intensidad de sus manifestaciones, a las claves de la evolución natural del sistema terrestre. Antes al contrario, hoy día puede afirmarse que son la consecuencia directa de los desajustes derivados de la actividad humana sobre el medio, debiendo ser considerados por lo tanto como cambios provocados por Hombre; de ahí que, a la hora de identificar las actuales modificaciones del clima tengamos que apostillar hablando de *cambio climático inducido* (*man-induced climate change*: Bolin, 1991; *anthropogenic climate change*: Lins, et al., 1991, entre otros).

2.1.1 Cambio Climático Inducido y Antropización del sistema natural

De forma natural, el *Efecto Invernadero* (E.I.) ha permitido que la Tierra alcance, desde el punto de vista climático, unas condiciones apropiadas para la vida y para cualesquiera tipos de procesos naturales tal como hoy los conocemos. Ahora bien, cuando la proporción relativa de los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (responsable del 61% del E. I. actual), el metano (15%), los CFC's (11%), el óxido nitroso (4%) y otros (9%), se desajusta hasta introducir variaciones considerables en el sistema climático, como es el caso de lo que viene ocurriendo de manera inducida, aproximadamente en los últimos 150 años, merced a la quema sistemática de combustibles fósiles, incendios, incremento de los cultivos inundados y de la cabaña ganadera, etc., los desequilibrios se agravan y el sistema entra en crisis.

Como puede observarse en la figura 1, las concentraciones de CO₂ en la atmósfera han aumentado casi en una tercera parte en poco más de dos siglos³. Comparando esta curva con la relativa al comportamiento de la población mundial, la similitud entre ambas no deja lugar a dudas de la relación de dependencia existente entre ambos procesos.

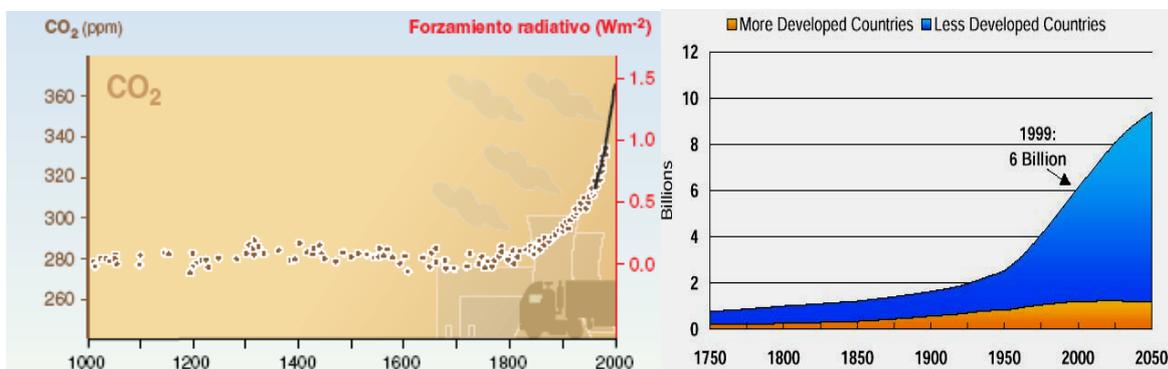


Figura 1: Comparación entre las curvas de concentración de CO₂ en la atmósfera durante el último milenio (IPCC) y la evolución de la población total mundial desde el año 1750 (PRB: antes de 1950; UN, *World Population Projections to 2150*. 1998: de 1950 a 2050)

De manera correlativa, a lo largo del último siglo la temperatura en nuestro planeta ha seguido una tendencia media al alza cifrada en total en torno a $0,6 \pm 0,2$ °C⁴, siendo la década de los 90 la más calurosa de los últimos 140 años. Según los datos del Tercer Informe de Evaluación del IPCC (2001) basados sobre distintos escenarios de aumento de la concentración de gases de efecto invernadero, las proyecciones globales para el periodo 1990-2100 arrojan un incremento de la temperatura media entre 1,4 a 5,8 °C.

Una de las principales consecuencias de esta situación es el aumento del nivel mar, cuyas previsiones varían, asimismo según el citado documento, entre 0,09 y 0,98 m para el periodo 1999-

³ Algo parecido ocurre con las curvas del resto de los gases de E.I. mencionados como el metano, que se ha multiplicado por 2, y el óxido nitroso por 1,1.

⁴ Para el caso de España, esta cifra puede llegar a doblarse.

2100. Pero sus secuelas no acaban aquí, sobre todo si analizamos el fenómeno de una forma integral, o sea, procediendo al traslado de estos parámetros físicos del sistema climático al plano medioambiental sin perder de vista, primero, que el *sistema natural terrestre* (Tricart, 1987) es precisamente eso, un gran ecosistema donde todos sus componentes se relacionan entre sí y se influyen mutuamente de una forma u otra; y, segundo, que el *medio natural* sobre el que queremos valorar los efectos del cambio climático inducido es ya, hoy en día, un *medio antropizado*; esto es, constituido por una trama ecológica fuertemente condicionada en su estructura y funcionamiento por la actividad humana (Fig. 2).

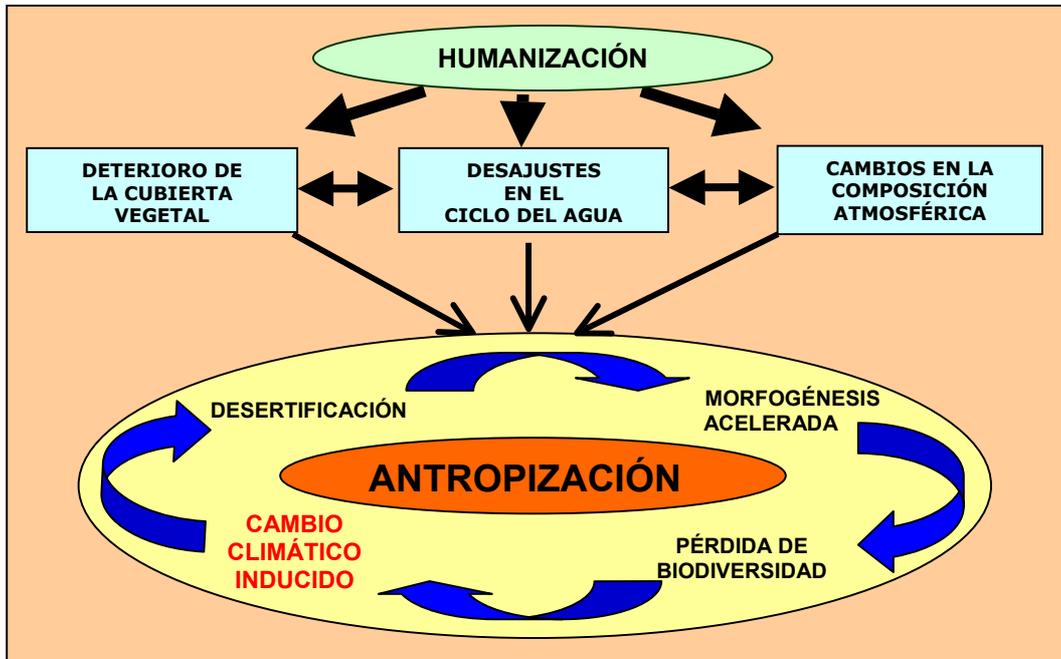


Figura 2: Esquema de relaciones entre los procesos de *humanización* de nuestra sociedad y de *antropización* del sistema natural, con indicación de las grandes problemáticas medioambientales actuales a escala global.

Todo ello dibuja, en efecto, un panorama de una fuerte interdependencia entre los distintos fenómenos que se pueden catalogar como las más significativas controversias medioambientales a escala global, un panorama en el que el ser humano es agente y víctima a la vez. Según se expresa en la figura anterior, estas grandes problemáticas medioambientales serían la *desertificación*, la *morfogénesis acelerada*, la *pérdida de biodiversidad* y el comentado *cambio climático inducido*, las cuales se configuran como las principales manifestaciones del proceso general de *antropización*, vinculándose unas con otras mediante un férreo mecanismo de retroalimentación positiva. El origen de estas problemáticas medioambientales es un cúmulo de circunstancias derivadas del progresivo aumento en la capacidad cultural y tecnológica adquirida, a lo largo de la historia, por la sociedad en aras de un manejo más efectivo de los componentes y los flujos de materia y energía del sistema natural (*humanización*). Tres serían las categorías en las que pueden agruparse estas circunstancias: la primera, la relativa a las acciones que provocan un deterioro de la cubierta vegetal (tanto en cantidad como en calidad); la segunda, aquella que engloba las actuaciones que conducen a un desajuste del ciclo del agua (primero actuando sobre el tramo terrestre superficial del mismo y, progresivamente, también sobre el subterráneo y el atmosférico); y, por último, aquella otra que incluye las actividades que inducen cambios en las proporciones relativas de la composición gaseosa de la atmósfera.

2.1.2 Objetivos y aspectos conceptuales y de método

El objetivo central de la investigación de la que da cuenta el presente informe se cifra en la evaluación cualitativa de los impactos del cambio climático inducido sobre el sistema natural de Doñana, así como en la articulación de una propuesta integral de tipos de acciones que pueden

programarse de cara a adaptación/minimización ante los mismos. Una dificultad añadida a la incertidumbre que de por sí entraña la evaluación de la incidencia concreta del CCI sobre el sistema natural radica en que su efectividad variará en función de su status funcional de los ecosistemas afectados; o sea, según se encuentre su *integridad* y su *salud ecológicas*⁵. Hoy día hablar de “sistemas naturales” en términos absolutos prácticamente carece de sentido, tanto más si lo hacemos para referirnos a ámbitos tan antiguamente poblados y manejados por el ser humano como el mundo Mediterráneo. Es necesario tener muy presente, así pues, que cualquier evaluación que pueda plantearse con estos objetivos ha de hacerse teniendo en cuenta que tratamos con ecosistemas manejados (en mayor o menor medida, de forma tradicional o no) por el ser humano. En consecuencia, las unidades funcionales sobre las que habría que hacer descansar cualquier proyección de variaciones climáticas futuras deben ser concebidas como *ecosistemas culturales*⁶ (Montes *et al.*, 2003; Borja *et al.*, 2004). En este sentido ninguna política, directriz, propuesta o acción concreta de minimización o adaptación a este tipo de cambios puede ignorar la necesidad de trabajar tanto con la componente ecológica como con la parte antrópica de los sistemas naturales (tanto socio-económica como cultural).

Desde este punto de vista, la presente propuesta de análisis de los efectos del CCI sobre los ecosistemas del área de Doñana se fundamenta en un *enfoque ecorregional*⁷, desde cuya óptica las distintas unidades funcionales del territorio pueden ordenarse y clasificarse de un modo jerárquico, incorporando para cada nivel de análisis la componente humana de los ecosistemas. A este respecto, se cuenta con la ventaja de disponer para el Parque Nacional de Doñana de una cartografía ecológica inspirada en estos principios (Montes *et al.*, 1998), la cual, como se verá en el transcurso de la parte de este informe dedicada a los resultados de la investigación, ha sido utilizada como un eficaz instrumento de cara a la elaboración del diagnóstico y la articulación propuestas concretas.

Así pues, en el desarrollo metodológico de esta línea de trabajo se ha procedido, en primer lugar, analizando las bases ecológicas e incorporando los aspectos territoriales más relevantes del área de estudio, lo cual ha permitido definir las líneas maestras del estado actual de los ecosistemas de Doñana. Posteriormente se han valorado los actuales escenarios del CCI, tanto a escala global como regional (marcos mediterráneo y peninsular), y se han evaluando las posibilidades y los márgenes de incertidumbre que implica su extrapolación para un análisis a escala local como el que aquí se aborda. En este apartado se han seguido los siguientes pasos: considerar los efectos de las variaciones que, de forma general otorgan los diferentes escenarios a los distintos parámetros climáticos para el área de Doñana; evaluar cuales son las principales incidencias de dichas variaciones sobre los procesos naturales (a este respecto el sistema natural se ha considerado desde el triple punto de vista del *Hidrosistema*, el *Morfosistema* y el *Edafosistema*); y determinar los posibles cambios a los que pueden verse abocados los ecosistemas de Doñana, definidos, como se ha indicado anteriormente, a diferentes escalas espacio-temporales dentro del marco de la regionalización ecológica. El apartado dedicado a las propuestas con el que se cierra el presente trabajo ha sido planteado articulando un cuadro de doble entrada donde el conjunto de acciones definidas se articulan atendiendo tanto a una serie de *campos estratégicos* en los que concentrar esfuerzos de manera prioritaria (a: mantenimiento de la diversidad eco-cultural; b) desarrollo de

⁵ La *integridad ecológica* refiere la capacidad de un ecosistema de mantener la estructura y el funcionamiento que le corresponde a lo largo del tiempo, en el marco de unas condiciones cambiantes por causas naturales o antrópicas; esto le confiere una determinada capacidad de respuesta ante cualquier tipo de perturbación ya sea ésta de origen natural o humano.

El concepto de *salud ecológica* es complementario con el anterior, y hace referencia al valor social de los ecosistemas, ya que alude a la capacidad que poseen los ecosistemas con integridad ecológica para suministrar flujos de bienes y servicios de forma sostenible, es decir, sin interrupciones, debilitamiento o pérdidas.

⁶ Sistemas naturales definidos, además de por sus características naturales, por su vocación (o capacidad de uso general y aptitud específica para determinadas clases y niveles de intensidad de la actividad humana: agrícola, ganadera, forestal...), por lo que se trata de unidades funcionales que reflejan el grado de coevolución entre el medio natural y el ser humano.

⁷ Esto es, que sigue los principios y procedimientos básicos de la *regionalización ecológica* o clasificación jerárquica de carácter genético funcional de ecosistemas.

estrategias de diversificación socio-económica frente a nuevas presiones territoriales; c) implementación de modelos de gestión de carácter adaptable), como a diversas *líneas de actuación* encaminadas a la minimización/adaptación, ante la incidencia del cambio climático inducido de: a) los sistemas naturales; b) los sistemas socio-económicos; c) los sistemas culturales (Fig. 3).

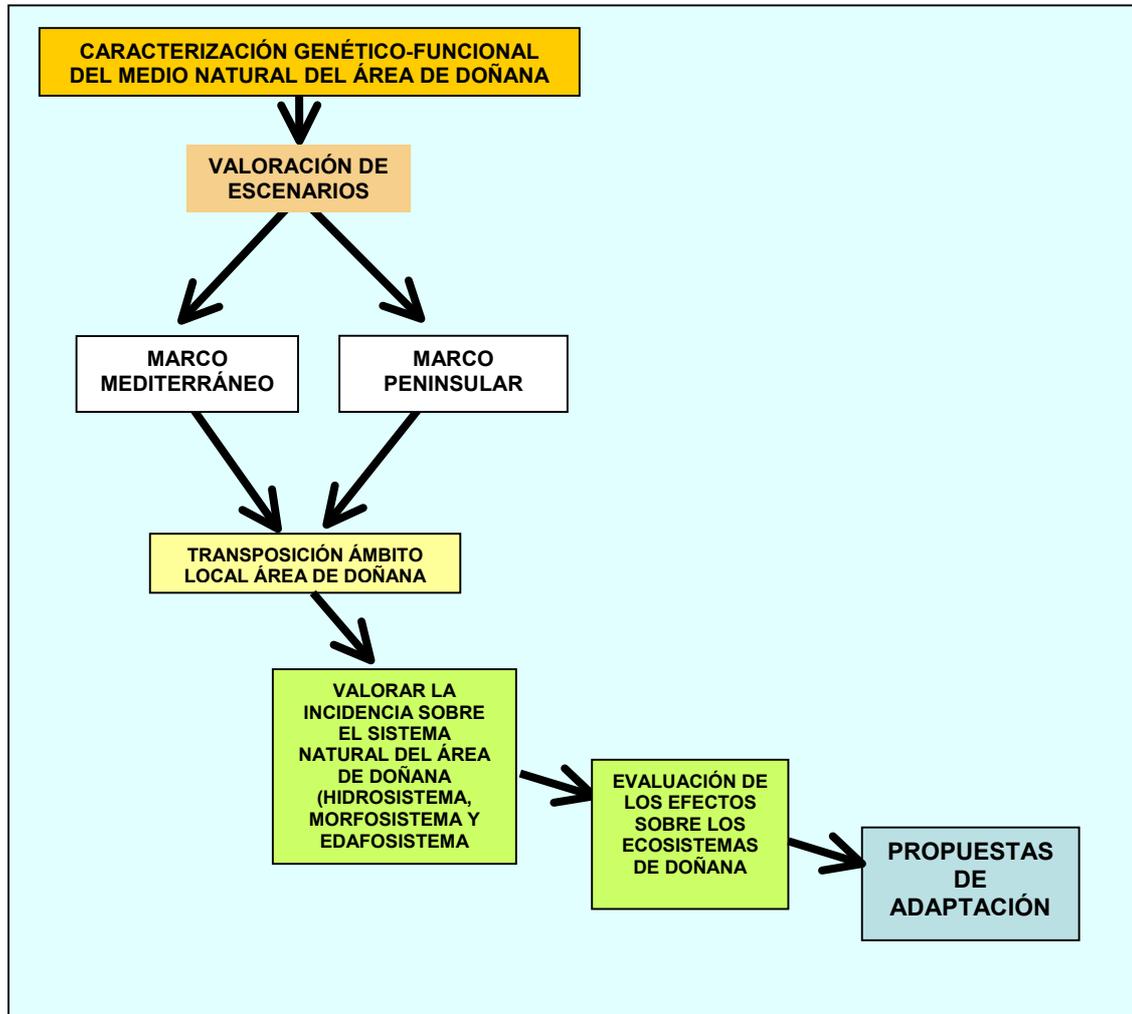


Figura 3. Esquema básico para el desarrollo del trabajo llevado a cabo en la presente investigación.

3 Bases ecológicas para la Evaluación del CCI en Doñana

3.1 Contexto genético-evolutivo del área de Doñana: el sistema playa-duna-humedal

Las actuales marismas protegidas de Doñana, en unión con las que en su día fueron transformadas para uso agrícola, acuícola, etc., proceden en su conjunto de la colmatación del antiguo gran estuario del Guadalquivir. Este paulatino proceso de transformación de una gran ensenada litoral en un diversificado medio de marismas arranca hace varios miles de años como consecuencia, precisamente, de la última gran subida del nivel del mar, en cuyo origen se encuentra un recalentamiento climático de repercusiones planetarias. En el Golfo de Cádiz, el punto máximo de este avance del mar sobre el continente se registra en torno a unos 6.500 a. B.P. (máximo transgresivo Flandriense: aprox. > 1 m sobre el nivel actual), momento en el que se configura una gran ensenada litoral en torno a la desembocadura del Guadalquivir. Con el paso del tiempo, y condicionada por un importante flujo de aportes fluviales y por una dinámica litoral que favorece el desarrollo de playas en forma de flecha litoral, esta ensenada tiende a individualizarse del mar abierto, a colmatarse y a *continentalizarse* poco a poco, al tiempo que los depósitos de playa sirven de área fuente para el desarrollo de diferentes sistemas dunares que colaboran en este proceso de transformación del antiguo estuario.

Aparece así el *sistema playa-duna-humedal* (Borja *et al.*, 1995), desde cuya perspectiva, el relleno del fondo del estuario, la progradación de la flecha litoral y el avance de los campos de dunas deben ser considerados como tres manifestaciones de un mismo proceso general de regularización de un medio fluvio-litoral, cuya evolución se materializa de forma interdependiente y controlada, en última instancia, por tres factores principales: unas variaciones menores de la posición del nivel del mar posteriores al máximo transgresivo Flandriense que se reajusta hasta ajustarse al 0 actual (Zazo *et al.*, 1996; Borja *et al.*, 1999); una dinámica litoral caracterizada por un oleaje del 3^{er} cuadrante, un régimen mesomareal y una deriva litoral del oeste (Borrego, 1992); y, finalmente, por una dinámica cada vez más intensa de aportes provenientes de las cuencas vertientes a las marisma (Lario *et al.*, 2002).

Como se ha intentado resumir en la figura 4, se trata de un proceso en el que playas, dunas y marismas de Doñana interactúan mutuamente a lo largo de los últimos miles de años, periodo en el se detectan fases diferentes en la evolución de cada subsistema aunque funcionando como un todo, de manera solidaria.

Las unidades de playa, correspondientes a las distintas fases de progradación de la *flecha litoral* de Doñana, han sido identificadas, asimismo de más antiguas a más recientes, como H1, H2, H3 y H4⁸. Se entiende, así pues, que cada fase de crecimiento de la flecha litoral arranca a continuación de cada uno de estos momentos de alto nivel relativo de la rasante marina. Los depósitos de playa pertenecientes al episodio H1 no se han reconocido en la flecha litoral de Doñana, los correspondientes al episodio H2 sólo aparecen en superficie en el sector de la contraflecha de la Algaida, siendo los desarrollados durante las etapas H3 y H4 los que pueden reconocerse plenamente en el sector de Marismillas, allí donde las acumulaciones dunares no han progresado lo suficiente como para cubrirlos (Zazo *et al.*, 1994; 1996; Lario, 1996; Borja *et al.*, 1999)

⁸ "H" viene del término inglés *Higstand* utilizado para identificar eventos de alto nivel marino con los que se relacionan los episodios que anteceden a las fases de crecimiento de las distintas unidades morfosedimentarias que componen la flecha litoral de Doñana.

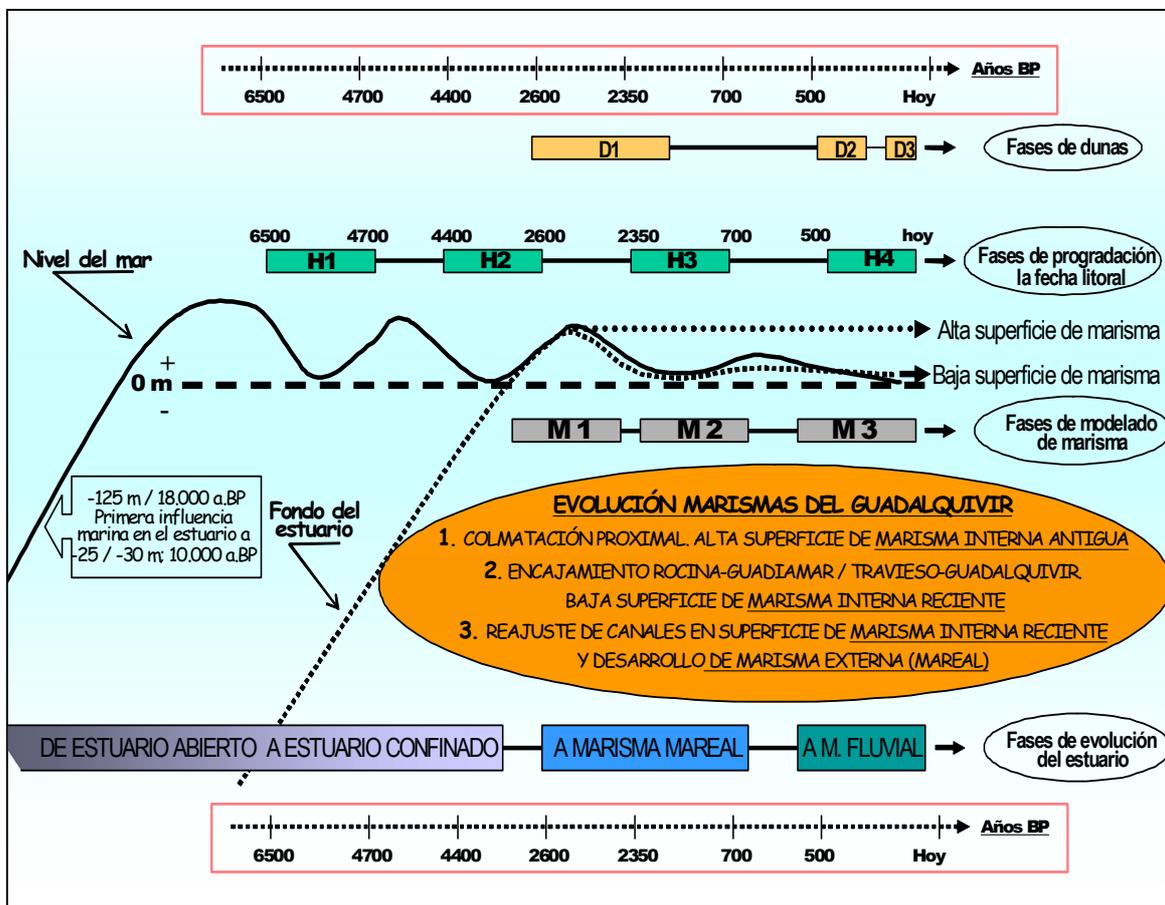


Figura 4. Síntesis del proceso general de transformación del estuario del Guadalquivir y configuración del *sistema playa-duna-humedal* bajo el que se materializa actualmente la interdependencia, tanto genética como evolutiva, de los principales ecosistemas del área de Doñana (Borja, F. en preparación).

Las fases de *dunas* D1, D2 y D3 se corresponden, de más antiguas a más modernas, con los tres episodios de predominio de morfogénesis dunar en los que tiene lugar la formación de las unidades más recientes del Manto Eólico Litoral de El Abalarío-Doñana (Borja y Díaz del Olmo, 1996; Montes *et al.*, 1998; Borja, C., en preparación), ecosistemas que han dado fama mundial al Parque Nacional (p.e. la zona de los Gusanos, al S de Santa Olalla, o las dunas de Marismillas correspondería al episodio D2; las dunas activas de Doñana pertenecerían al episodio más reciente D3; mientras que el episodio D1, el más antiguo, sólo se reconoce en superficie en el sector de la contra-flecha de La Algaida⁹.

El lo que respecta a la evolución del *estuario* propiamente dicho se han distinguido tres episodios diferentes, M1, M2 y M3, correspondiéndose, la primera de estas fases con el desarrollo de las áreas de colmatación más próximas al continente (tradicionalmente asociadas a la alta topografía de la marisma); la segunda, con el proceso de encajamiento topográfico de los sectores topográficamente más deprimidos de la marisma, asociados a los principales ejes de drenaje de la misma (Rocina, Caño Guadiamar, Travieso...); y la tercera con los reajustes subactuales de los mencionados drenajes y a la conformación de los sectores de funcionamiento mareal del conjunto.

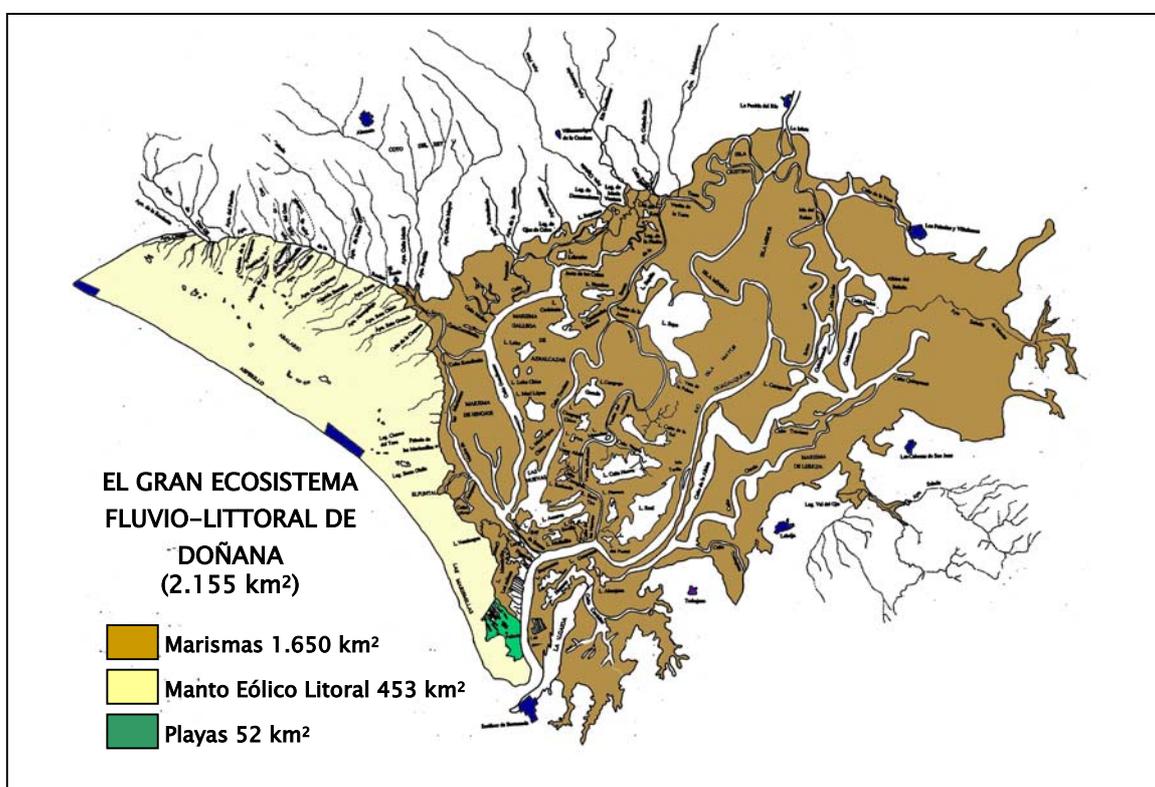
La importancia relativa de cada uno de estos factores ha cambiado con el paso del tiempo; de tal forma que si hace varios miles de años las fluctuaciones del nivel del mar, y la incidencia de la deriva litoral eran decisivas en la caracterización del cierre del antiguo estuario y el desarrollo de las incipientes marismas, en los últimos siglos, y una vez alcanzadas las cotas topográficas necesarias como para que la antigua plataforma proximal quedase a salvo de la influencia de las mareas, el principal condicionante de su funcionamiento es la dinámica aluvial, la cual se relaciona directamente con el manejo de las cuencas. De ahí que hoy nos encontremos frente a un

⁹ Su existencia en la zona del cuerpo principal de la flecha litoral de Doñana ha sido detectada mediante datos procedentes de sondeos geotécnicos y registros gearqueológicos (Borja *et al.*, 1999; Gómez-Ponce & Borja, 2001).

ecosistema de marisma que funciona bajo condicionantes eminentemente continentales. Estas circunstancias genético-evolutivas hacen que, a la hora de valorar cualquier proyección del cambio climático y su correspondiente reajuste del nivel del mar, o asimismo, de elaborar cualquier propuesta de gestión/restauración de estas marismas, sea necesario aplicar tanto la consideración particular de cada uno de sus sectores de manera individualizada, como la visión jerarquizada espacio-temporalmente de interrelación del conjunto de los mismos.

3.2 *El gran ecosistema fluvio-litoral de Doñana. Un enfoque ecorregional*

El denominado *Gran Ecosistema Fluvio-Litoral de Doñana* (Montes & Borja, en preparación) constituye uno de los complejos naturales de mayor valor ecológico a nivel mundial, abarcando en su conjunto más de 2.000 km². Formado por ecosistemas del tipo playas, dunas y marismas, este gran ámbito del Golfo de Cádiz constituye el más genuino representante del modelo *playa-duna-humedal* que caracteriza a toda la fachada suratlántica de Iberia. A esta escala de análisis, de entre los sistemas naturales del área de Doñana destaca el de sus *marismas* que, según se aprecia en la reconstrucción de sus límites originarios (Fig. 5), llegó a cubrir más de 1.600 km².



Figuras 5: El *Gran Ecosistema Fluvio-Litoral De Doñana* se compone de unidades funcionales de playas (tanto actuales como relictas), mantos eólicos (fitoestables, semiestables o activos) y marismas de distinta consideración genético-funcional (aluvial, mareal) (Montes & Borja, en preparación).

La regionalización ecológica de los sistemas naturales de menor rango correspondientes a este *Gran Ecosistema fluvio-litoral de Doñana* no se ha completado por el momento (aunque actualmente existe un proyecto en marcha en el que se contempla esta tarea; Borja y Román, en preparación), habiéndose trabajado sólo parcialmente y no a todos los niveles escalares que contempla en la propuesta que a nivel regional existe para Andalucía (Borja *et al.*, 2004) (Anexo 1).

No obstante, el trabajo realizado para el conjunto del Parque Nacional (Montes *et al.* 1998), junto con la ampliación llevada a cabo en el seno de la antigua Comisión Científica del Corredor Verde del Guadiamar (CMA) para el desarrollo del proyecto Doñana 2005 (Montes *et al.*, 2004, documento inédito), nos proporciona una cartografía ecológica con datos suficientes de la jerarquía de ecosistemas como para que pueda ser utilizada en el presente estudio como una eficaz herramienta de clasificación genético-funcional de ecosistemas

Siguiendo esta documentación, el *Gran Ecosistema Fluvio-Litoral de Doñana* quedaría constituido por tres sistemas naturales a escala de *ecodistrito*: el Ecosistema Eólico de El Abalario-Doñana (dunas); el Ecosistema de Marismas del Guadalquivir (humedal); y el Ecosistema Costero de Doñana (playas) (Fig. 6).

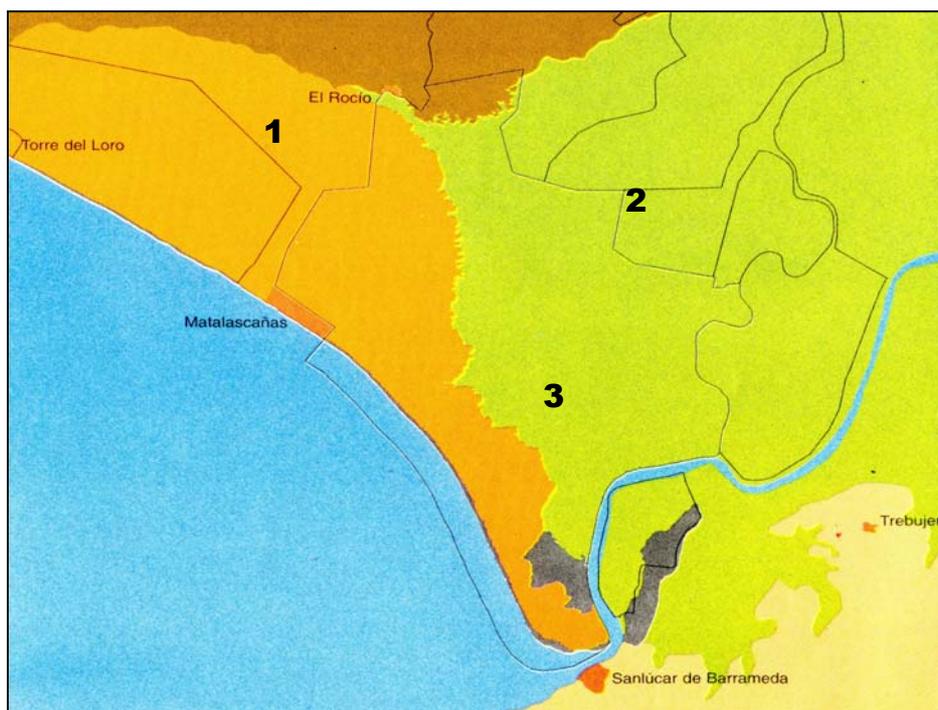
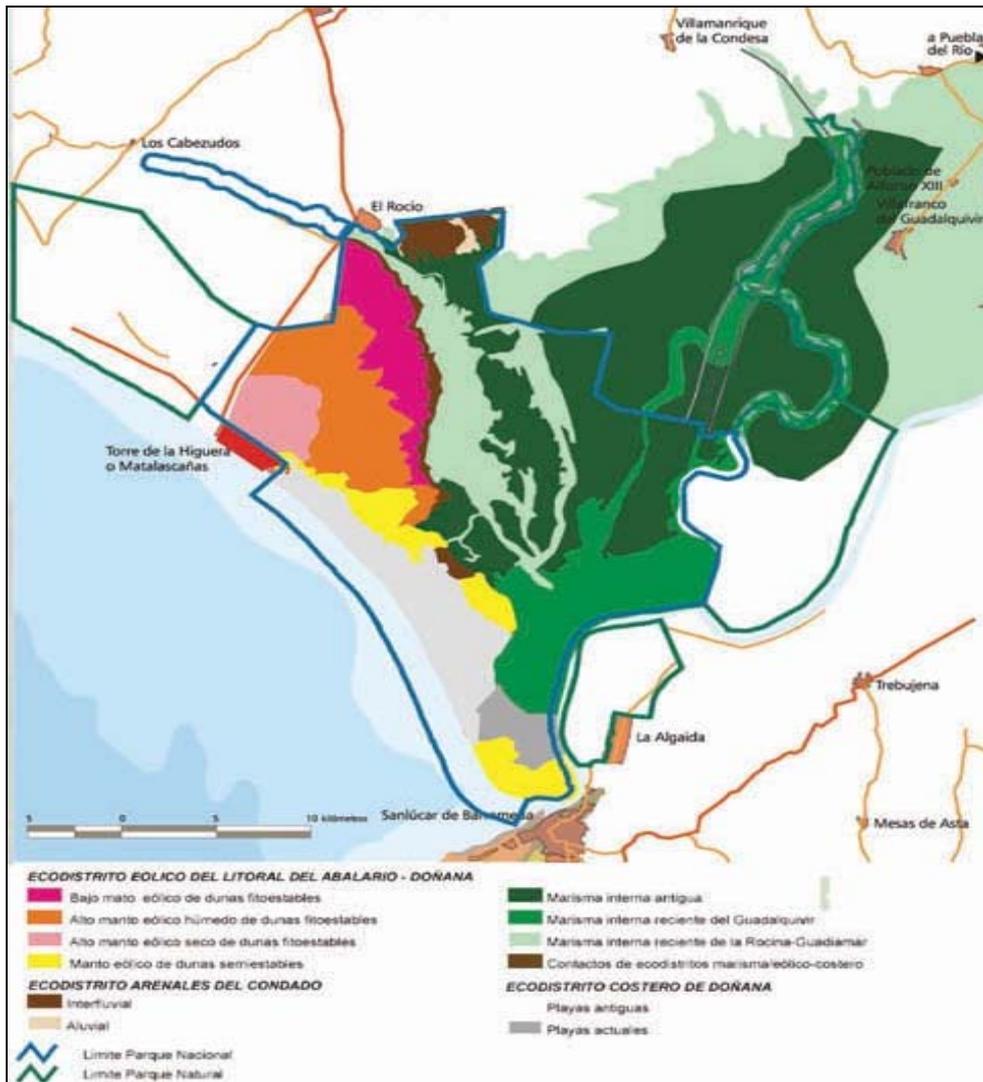


Figura 6: Mapa de ecosistemas del área de Doñana a escala de *Ecodistrito* (Montes *et al.*, 1998) (1: Ecosistema eólico de El Abalario-Doñana; 2: Ecosistema de Marismas del Guadalquivir; 3: Ecosistema costero de Doñana)

A un nivel de detalle mayor (Fig. 7), a escala de *Ecosección*, el ecosistema costero se compone de dos unidades menores del tipo *playas actuales* (o unidades funcionales sometidas a la hidrodinámica marina actual del sector occidental del Golfo de Cádiz) y del tipo *playas antiguas* (en este caso correspondiéndose con los sectores asociados a las diferentes fases de progradación de la flecha litoral).



Figuras 7: Ecosistemas a escala de ecosección del Parque Nacional de Doñana y el entorno de Entremuros (Borja y Román, en preparación; ampliado de Montes *et al.*, 1998)

Por su parte, los ecosistemas eólicos reconocidos a escala de *ecosección* son cinco, coincidiendo con las otras tantas unidades eólicas que componen el Manto Eólico Litoral de El Abalarío-Doñana (Borja y Díaz del Olmo, 1996). Estos ecosistemas se han distinguido, principalmente, por su génesis y por su distinto grado de estabilidad: entre los ecosistemas fitoestables del pleistoceno superior-Holoceno inferior estarían el *Bajo Manto Eólico* (de carácter exorreico donde se desarrolla el sistema de cañadas de la margen derecha del arroyo de La Rocina y su continuación en La Madre dentro del Parque Nacional), el *Alto Manto Eólico húmedo* (al que se asocia preferentemente el *Complejo Palustre* de Abalarío-Doñana; Coletto, 2003; Borja, C. en preparación), y el *Alto Manto Eólico seco* (propio de los ambientes de sabinares o *naves*). Además habría que distinguir el *Manto eólico de Dunas Semiestables* y el *Manto Eólico de Dunas activas*, constituyentes ambos de las conocidas como dunas móviles de Doñana, de cronología plenamente histórica.

En el caso de las marismas son dos los ecosistemas principales que se distinguen. El primero de ellos corresponde a las denominadas *marismas externas*, y de él hay que destacar su génesis subactual y su carácter mareal, así como, por otra parte, su escasísima representación en la reserva, su exclusiva vinculación a las márgenes de los tramos finales de los principales canales fluviales (Guadalquivir y Brazo de la Torre) y el riguroso control antrópico al que se encuentran sometidas gracias a un sistema de muros y compuertas. El segundo de estos ecosistemas de marisma hace

referencia a los sectores *internos* de la misma, los cuales constituyen la inmensa mayoría de la parte protegida por los Parque Nacional y Natural. Por el contrario que en el caso anterior, este ámbito se caracteriza por quedar expresamente sometido a una evolución y una dinámica de carácter aluvial, no sólo en lo que a los cauces del Bajo Guadalquivir se refiere, sino también, y con tanta más importancia cuanto más nos acercamos al presente, en lo que atañe al conjunto de cuencas de la margen noroccidental (incluida la del Guadiamar) que le aportan sus aguas y sus sedimentos. Dentro de estas marismas ajenas al régimen mareal aún es posible identificar dos nuevas situaciones desde un punto de vista genético-funcional, y por tanto dos ecosistemas diferentes a escala de ecosección: las *marismas internas antiguas* y las *marismas internas recientes*.

Desde el punto de vista de la evaluación del impacto del cambio climático inducido, determinar el papel que juegan tanto la trama natural como la componente humana en la organización y funcionamiento actuales de estos ecosistemas es un asunto clave; ya sea de cara al diagnóstico de las afecciones como a plantear acciones concretas de minimización/adaptación. Estos ecosistemas son, en otras palabras, las unidades de referencia espacio-temporal con las que hay que trabajar en términos de proyectar posibles respuestas del medio ante las modificaciones del comportamiento climático o ante la subida del nivel del mar, entre otras cosas, porque de su grado de *resiliencia*¹⁰ depende la suerte que han de correr las diferentes especies de animales y plantas y, en última instancia, la biodiversidad de este espacio. De ahí la importancia de contar con una caracterización genético-funcional de los ecosistemas de Doñana y de conocer, desde la perspectiva de la reconstrucción paleogeográfica, cómo respondieron a lo largo de la historia reciente ante situaciones equiparables a las previstas para las próximas décadas.

Por último, la aproximación ecorregional al análisis del impacto de cambios climáticos y subida del nivel del mar en los ecosistemas de Doñana requiere, igualmente, de una especial consideración de lo que podríamos denominar el *Hidrosistema de Doñana*; habida cuenta del importante papel que cumplen las aguas como distribuidoras de flujos de energía y materia. En este hidrosistema de referencia se incluye tanto la componente superficial –constituida por el tramo bajo del Guadalquivir, la cuenca del Guadiamar, las cuencas del Partido, Cañada Mayor, La Rocina, etc., de las que dependen directamente los ecosistemas aluviales y de marisma–, como la subterránea, la cual se vincula expresamente a la Unidad Hidrogeológica 05-51 Almonte-Marismas, cuya influencia principal se deja sentir tanto en los tramos bajos de las cuencas vertientes como en los ecosistemas de los mantos eólicos y las playas.

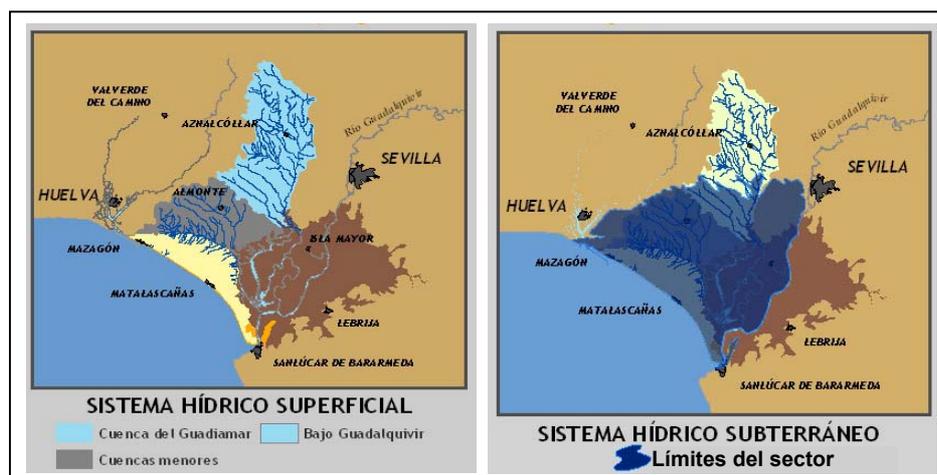


Figura. 8. Componentes superficial y subterránea del Hidrosistema de referencia de Doñana (Ruiz Labourdette *et al.*, en preparación).

¹⁰ La resiliencia es la capacidad de ecosistema de tolerar perturbaciones sin alterar su integridad ecológica, o sea, sin colapsarse. Determina, por tanto, la cantidad de perturbación (tensión) que un sistema puede encajar sin pasar a un estado no deseado; define, en otros términos, su elasticidad.

4 Evaluación de Escenarios del CCI. Modelos y Ámbitos de Referencia

4.1 Antecedentes

En la reciente historia de la lucha contra el cambio climático inducido¹¹, cabe distinguir tres etapas las cuales se aglutinan en torno a tres eventos internacionales clave:

- Una primera etapa, que podríamos considerar como de reconocimiento del problema, toma cuerpo tras numerosas negociaciones internacionales a lo largo del periodo 1972-1992, cuando tiene lugar uno de los hitos más importantes de la misma, la **Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo** en Río de Janeiro (1992). Esta conferencia, también conocida como “Cumbre de la Tierra”, ha sido el acontecimiento más relevante a nivel internacional en lo que a medio ambiente se refiere, aceptándose por primera vez un compromiso mundial en torno al concepto del Desarrollo Sostenible, y aprobándose documentos concebidos sobre la base de la responsabilidad compartida como la Carta de la Tierra, la Agenda 21, así como los acuerdos sobre el clima, biodiversidad, etc.
- Una segunda etapa sería aquella en la que se materializan las repuestas ante el cambio climático inducido mediante instrumentos jurídicos, destacando la tercera sesión de la conferencia de las partes celebrada en **Kioto** en 1997, como el hecho más destacado debido a que en ella se acomete el establecimiento de un Protocolo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, donde se desarrollan y concretan las prescripciones genéricas de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). Este pliego compromete a los países que lo adoptan a estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero en un nivel que evite interferencias peligrosas con el sistema climático terrestre. Los países desarrollados tendrían que reducir sus emisiones en un 5,2 % como media respecto al nivel de 1990, para alcanzar este objetivo durante el periodo 2008-2012. Tras numerosas y complicadas negociaciones, por fin, el *Protocolo de Kioto* entra en vigor en Febrero de 2005 con la ratificación de la Federación Rusa, aglutinando a los 55 países cuyas emisiones de CO₂ suman al menos el 50%.
- Por último, una tercera etapa sería aquella caracterizada por la edición de los principales informes oficiales destinados a la evaluación a fondo de las magnitudes del fenómeno y la previsión de sus impactos. Durante estos años se profundiza en un conocimiento exhaustivo de los efectos del CCI así como en las propuestas para su mitigación, estableciéndose como referencia básica, tras otras ediciones previas, el **Tercer Informe de Evaluación** (TIE) del Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático (**IPCC**) de 2001. En este informe se proyecta, para el periodo 1990-2100, un incremento futuro de temperaturas que oscilarán en un rango de 1,4 a 5,8 °C, así como un aumento del nivel mar que variará entre 0,09 y 0,98 m.

¹¹ Los detalles particulares de este proceso histórico se desarrollan en el Anexo II.

4.2 Marco de referencia regional

4.2.1 Modelos y escenarios

El estudio actual del cambio climático inducido se fundamenta en el uso de modelos climáticos globales (GCM), los cuales constituyen representaciones matemáticas del conjunto de las interacciones existentes entre la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, etc. Aunque el clima de la Tierra es extremadamente complejo por la multitud de interacciones y procesos que tienen lugar en la superficie del planeta, actualmente estos *modelos* globales son las mejores herramientas de las que se dispone para el estudio de su estado, siendo esenciales asimismo para el conocimiento de la respuesta del mismo ante los efectos inducidos por la actividad humana. Los modelos más usados en este campo son los que descansan sobre la relación atmósfera-océano, los cuales se conocen por las siglas inglesas AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model). Los AOGCM se combinan con representaciones matemáticas empíricas y semiempíricas de otros componentes del sistema climático, como la mencionada criosfera, el suelo o la cubierta vegetal. Actualmente existen decenas de estos modelos, desarrollados en diferentes centros de investigación.

Para hacer la extrapolación de las condiciones futuras que podrían darse en el área de Doñana y los consecuentes impactos que se generarían, o la intensificación que podría producirse de los ya existentes, nos basaremos principalmente en los *escenarios* de variaciones climáticas a escala regional desarrollados en los siguientes informes: “Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from a 2° C global temperature rise region” (Giannakopoulos, 2005) y “Evaluación Preliminar de Impactos en España por Efecto del Cambio Climático” (MIMAM, 2005).

Estos dos informes apoyan sus predicciones en los resultados obtenidos por el Modelo de Circulación General (GCM) *HadCM3*, desarrollado en el Hadley Centre for Climate Prediction and Research (Reino Unido), cuya resolución espacial es de 2,5° latitud y 3,75° longitud (lo que supone aproximadamente una dimensión horizontal de las celdillas de 300 x 300 km en latitudes medias), dimensiones habituales en la generación actual de este tipo de modelos (Giannakopoulos, 2005).

De forma generalizada los escenarios de emisiones más utilizados son el SRES A2, donde se considera que la concentración global futura de CO₂ será un 120% más de la actual para el año 2100, y el SRES B2 donde se prevé un aumento del 100%. Los resultados de ambos escenarios son muy similares en la primera mitad del siglo XXI, variando algo más en los últimos 50 años de la centuria y siendo el A2 el más pesimista como podemos ver la figura 9.

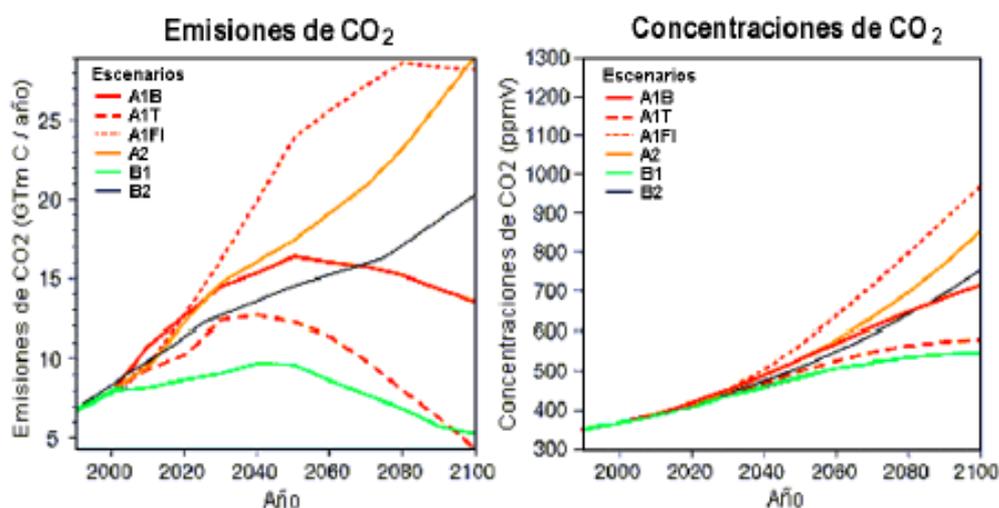


Figura 9: Evolución de las emisiones y concentraciones globales de CO₂ a la atmósfera debidas a las actividades humanas, según los diversos escenarios SRES (MIMAN, 2005; tomado de IPCC, 2001)

Según los mencionados informes cabe distinguir dos aproximaciones escalares diferentes dentro del marco regional de referencia: la correspondiente al ámbito circunmediterráneo y la que atañe al espacio peninsular.

4.2.2 Ámbito Mediterráneo

A escala de la región Mediterránea, el informe elaborado por C. Giannakopoulos (2005) considera que entre 2031 y 2060 puede registrarse un aumento de 2 °C en la temperatura media global respecto al periodo de referencia (1961-1990), el cual se correspondería con una concentración de CO₂ en la atmósfera de unos 450 ppm. Con carácter generalizado, se admite que este nivel es el máximo que puede soportar el sistema climático terrestre sin presentar derivaciones “caóticas” y/o “catastróficas”.

En este informe se proyectan escenarios futuros de los parámetros climáticos en la cuenca mediterránea en los siguientes términos:

- En relación a las altas temperaturas, de forma general, se prevé una media de un mes adicional de “días de verano” ($T_{\max}>25^{\circ}\text{C}$) en el interior y el área central de la ribera norte del Mediterráneo (Creta, Peloponeso, Sur de Grecia y Sicilia), y de unos 15 días sobre el resto de las regiones costeras. El incremento en el número de “días de calor” ($T_{\max}>30^{\circ}\text{C}$) es desde dos semanas a lo largo de la costa, a cinco o seis semanas en el interior, y el número de “noches tropicales” ($T_{\min}>20^{\circ}\text{C}$) incrementaría casi un mes en toda la cuenca.
- Las previsiones para las bajas temperaturas vienen determinadas principalmente por la variación del número de noches heladas ($T_{\min}<0^{\circ}\text{C}$) que disminuye respecto a la media de control en una o dos semanas a lo largo de la costa y aumenta a un mes en el interior, así como por la variación del número de noches muy frías y días helados que, en este caso, muestran un patrón similar decreciendo a la mitad.
- Los escenarios para el régimen de precipitaciones del Mediterráneo prevén un mayor número de días secos (precipitación diaria $<0,5$ mm), llegándose a un mes en el caso de la Península Ibérica. Los periodos de estiaje también tienden a variar, como por ejemplo en Francia y el centro de España, donde comenzarán tres semanas antes y terminarán dos semanas más temprano, lo cual supone una semana más al año, cifra que puede aumentar en otras localizaciones más meridionales.

Las consecuencias de estas variaciones sobre el funcionamiento del medio natural y las actividades humanas que tienen lugar en el mismo pueden llegar a ser desastrosas, siendo el riesgo de incendio y el impacto sobre la agricultura los más importantes para la región mediterránea; sin olvidar la limitación que sufrirán los recursos frente al esperado aumento de la demanda en los próximos años.

4.2.3 Ámbito Peninsular

Por su situación geográfica, su compleja orografía, la dilatada extensión de su línea de costa, etc., la Península Ibérica presenta una gran variedad climática, la cual se manifiesta tanto desde el punto de vista espacial como temporal (Capel, 1981; Font Tullot, 1983), siendo por ello una de las regiones europeas con mayor biodiversidad (Myers *et al.*, 2000).

Según el informe del Ministerio de Medio Ambiente (2005), las previsiones de cambio de los parámetros del clima y variaciones del nivel mar para la Península Ibérica son las siguientes:

- Un incremento de la temperatura, que será esencialmente uniforme a lo largo del siglo XXI, con una tendencia media de 1,2 °C cada 30 años en invierno y de 2°C cada 30 años en verano para el escenario A2; y de 1,1 °C y 1,8°C respectivamente para el escenario B2. En casi todas las zonas de la península la evolución del calentamiento es prácticamente lineal, excepto a finales de siglo que será algo más acelerado, dándose en el último tercio incrementos máximos de la temperatura media estacional superiores a los 6 °C en verano en toda la península en el escenario A2, y sólo en la parte suroccidental en el escenario B2. En cambio, en invierno para ese periodo los incrementos de temperaturas se mantendrán por debajo de los 4°C en el escenario A2 y por debajo de 3°C en el B2.
- Según los dos escenarios considerados, la precipitación total de los meses de invierno tiende a aumentar, mientras que en primavera y verano se registraría una sensible disminución. Para el SRES B2 esta situación se presenta especialmente marcada en las primaveras del tercio central del siglo, atenuándose al final del mismo. Espacialmente, cabe subrayar el comportamiento al alza según el SRES A2 de las lluvias otoñales en el este y el noreste peninsular, reforzándose de tal modo los mecanismos de precipitación ligados a los fenómenos de “gotas frías”, todo lo cual tendrá una incidencia más significativa en los dos primeros tercios del presente siglo.
- Respecto al comportamiento futuro del nivel del mar, se espera un ascenso en los próximos años, como así demuestran tanto los trabajos realizados desde el punto de vista de la reconstrucción paleogeográfica de lo acontecido durante los últimos miles de años, como la información procedente de los registros de mareógrafos, etc. Según este informe, un aumento de 50 cm para finales de siglo parece ser un escenario razonable, y aunque también se han dado cifras en torno a 1 m, estas magnitudes son bastante menos probables. De cualquier forma, es presumible que las mayores magnitudes se alcancen en el litoral del norte peninsular, donde podrían desaparecer hasta un 40% de las playas, sólo con que la subida fuera de 50 cm. En lo que al litoral mediterráneo incluido el archipiélago balear, se refiere, serían los deltas y las playas bajas y humedales litorales los más impactados.

Como puede apreciarse, a diferencia de la linealidad que presentan los patrones de temperatura, condicionada principalmente por el régimen estacional con el que llega la radiación solar al planeta, la predicción de las precipitaciones, por depender de procesos físicos con mayor dificultad de simulación en los modelos, presenta un mayor grado de incertidumbre en su comportamiento, tanto desde el punto de vista temporal como espacial.

Al igual que ocurría con el informe referido al Mediterráneo, los impactos del cambio climático en la península incidirán de manera notable sobre los recursos hídricos, así como sobre la agricultura y el riesgo de incendios forestales. Aspectos que, por otra parte, ya comportan graves problemas estructurales en muchas zonas del sur y el levante de nuestro país, lo que se agravaría en las zonas costeras con los problemas añadidos que acarrearía la subida de la rasante marina.

5 Resultados y Discusión: Efectos del CCI en Doñana

5.1 Proyecciones para Doñana según el marco regional¹²

La variación del clima prevista para el próximo siglo en el área de Doñana muestra una clara tendencia a la **aridificación**. Con respecto a la media de control, establecida para el periodo de 1961 a 1990, las proyecciones de los escenarios regionales se traducen, principalmente, en:

- un aumento de las temperaturas medias diarias en torno a 3-4 °C (según SRES A2) ó 2-3 °C (según SRES B2), siendo este aumento más pronunciado en época estival cuando puede alcanzar un grado más en cada caso.
- un incremento en los máximos y mínimos de las temperaturas diarias que harán aumentar entre 2 y 5 semanas los días de verano, los días cálidos, las noches tropicales, así como disminuir entre 1 y 2 semanas las noches con heladas.
- una reducción de las precipitaciones (para una subida de 2°C de temperatura) que puede llegar hasta -110 mm/a, así como del número de días de lluvia que hacen que se prolongue el actual periodo de estiaje. Y, para el último tercio del siglo, un incremento notable de la evapotranspiración en otoño, así como, en general, un incremento de la velocidad del viento en torno a un 5%.

Con respecto a la subida del nivel del mar correlativo al recalentamiento climático global, para el área de Doñana se prevé un aumento de cotas en torno a 0,5 m para finales de siglo.

5.1.1 Variación de las temperaturas¹³

Según se desprende de la documentación y los escenarios y periodos de referencia, se esperan las siguientes variaciones en las temperaturas medias diarias:

Para el periodo 2010-2040:

INCREMENTO DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA (°C) RESPECTO PERIODO DE CONTROL		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>SRES A2</i>	<i>SRES B2</i>
Invierno	1	1
Primavera	1	1 – 2
Verano	1 – 2	2 – 3
Otoño	1 – 2	1 – 2

¹² En este apartado se procede a la consideración a escala local, área de Doñana, de los escenarios regionales de cambio climático de Giannakopoulos (2005) y del MIMAM (2005). El primero de ellos procede de la aplicación del Modelo Global HadCM3 y abarca el periodo 2031-2060; mientras que el segundo hace derivar sus proyecciones climáticas tanto del mencionado HadCM3, utilizando series de 30 años para el conjunto del presente siglo, como del Modelo Regional del Clima PROMES (el cual se anida en el GMC HadAM3H desarrollado por el Hadley Centre en el Reino Unido), referido al periodo 2070-2100, siendo este último el que se utiliza en la presente valoración. En lo que atañe a los cambios del nivel del mar se ha considerado, además la información a escala global procedente de las proyecciones del Tercer Informe de Evaluación del IPCC (2001), la proporcionada por el informe sobre Climate Change and the European Water Dimension (2005) de la Comisión Europea, junto a lo que incluye a este respecto en el referido MIMAM (2005).

¹³ Salvo que se indique lo contrario, las proyecciones de los valores de los diferentes parámetro se hacen son respecto a la media de control (1961-1990)

Para el periodo 2031-2060:

VARIACIÓN DE LAS ALTAS TEMPERATURAS	
<i>Días con</i>	<i>Incremento previsto (días)</i>
“número de días de verano” $T_{\max} > 25^{\circ}\text{C}$	21-28
“número de días de calor” $T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}$	14-28
“noches tropicales” $T_{\max} > 20^{\circ}\text{C}$	21-35

VARIACIÓN DE LAS BAJAS TEMPERATURAS	
<i>Días con</i>	<i>Reducción prevista (días)</i>
“noches heladas” $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	7-14

Para el periodo 2040-2070:

INCREMENTO DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA ($^{\circ}\text{C}$) RESPECTO PERIODO DE CONTROL		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>SRES A2</i>	<i>SRES B2</i>
Invierno	1	1
Primavera	2 - 3	2 - 3
Verano	4 - 5	4 - 5
Otoño	2 - 3	2 - 3

Para el periodo 2070-2100:

INCREMENTO DE TEMPERATURA MEDIA DIARIA ($^{\circ}\text{C}$) RESPECTO PERIODO DE CONTROL		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>SRES A2</i>	<i>SRES B2</i>
Invierno	3 - 4	2 - 3
Primavera	3 - 4	2 - 3
Verano	4 - 5	3 - 4
Otoño	3 - 4	2 - 3

Respecto a los cambios en la variabilidad y extremos de temperatura, en relación a los valores del clima actual, en el informe del MIMAM se ha utilizado entre otros, los índices basados en percentiles como el de extremos climáticos aplicables a las temperaturas. Así, para analizar la intensidad de condiciones térmicas extremas cálidas o frías, respectivamente se podría usar el percentil 90 ($T_{\max}90$) de la distribución de temperaturas máximas diarias (es decir, el último 10% de la serie de temperaturas máximas ordenada de menor a mayor) y el percentil 10 ($T_{\min}10$) de las mínimas diarias (es decir, el primer 10% de la serie de temperaturas máximas ordenada de menor a mayor) (Jones *et al.*, 1999; tomado de MIMAM, 2005).

En nuestra zona de estudio la variabilidad de la temperatura para el escenario de emisiones A2 no presenta grandes diferencias en las dos estaciones analizadas. Sin embargo, la diferencia de promedios estacionales de las temperaturas máximas diarias es de 4-5 $^{\circ}\text{C}$ para los meses de primavera y de 3,5-4,5 $^{\circ}\text{C}$ en los meses de otoño. En el caso de la diferencia de promedios estacionales del percentil 90, entre la simulación con el escenario de emisiones A2, para el periodo 2071-2100, y la de control, es de 4 - 4,5 $^{\circ}\text{C}$ en primavera y de 4 - 5 $^{\circ}\text{C}$ en otoño.

El hecho de que la media de las temperaturas correspondientes al último percentil ($T_{\max 90}$), sea superior a la media de las máximas diarias (MIMAM 2005, tomado de Sánchez *et al.*, 2004), vendría a significar que son los valores más elevados de la temperatura los que están incrementando su frecuencia. De lo que se deriva que las olas de calor estivales podrían extenderse a las estaciones equinocciales.

5.1.2 Variación de las precipitaciones

Con respecto al periodo 2010-2040, respecto asimismo a la media de control considerada para el caso de las temperaturas (1961-1990), se esperan las siguientes variaciones:

VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES (mm/día)		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>ESCENARIO B2</i>	<i>ESCENARIO A2</i>
INVIERNO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
PRIMAVERA	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
VERANO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
OTOÑO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25

Para el periodo 2031-2060, las variaciones del régimen de precipitaciones serían las siguientes:

ATENDIENDO AL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES	
<i>PARÁMETROS</i>	<i>VARIACIONES PREVISTAS</i>
Precipitación Anual	disminución de 110 a 0 mm/año
Periodo con precipitación diaria entre 1-10 mm	disminución de 1 a 2 semanas
Días secos (con precipitación diaria inferior a 0,5 mm)	aumento de 2 a 3 semanas
Periodos secos (con precipitación diaria inferior a 1 mm)	aumento 2 a 3 semanas
Final periodos de estiaje (precipitación diaria inferior a 0,5 mm)	retraso de 0 a 2 semanas (SRES A2) retraso de 2 a 5 semanas (SRES B2)
Comienzo periodos de estiaje (precipitación diaria inferior a 0,5 mm)	adelanto de 0 a 2 semanas (SRES A2) adelanto de 1 – 4 semanas (SRES B2)

Por su parte, para el periodo 2040-2070, se esperan las siguientes variaciones:

VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES (mm/día)		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>ESCENARIO B2</i>	<i>ESCENARIO A2</i>
INVIERNO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
PRIMAVERA	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
VERANO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25
OTOÑO	-0,25 a +0,25	-0,25 a +0,25

Para el periodo comprendido entre los años 2070 y 2100 se han proyectado las las siguientes variaciones:

VARIACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES (mm/día)		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>ESCENARIO B2</i>	<i>ESCENARIO A2</i>
INVIERNO	-0,25 a 0	-0,1 a -0,5
PRIMAVERA	-0,1 a -0,5	-0,25 a -0,75
VERANO	0 a -0,25	-0,1 a 0
OTOÑO	-0,25 a -0,5	-0,25 a -0,5

Respecto a la variabilidad de las precipitaciones (periodo 2070-2100), en el informe del MIMAM, se ha estudiado el cambio en el número de días con precipitación superior a 1 mm en porcentajes respecto al clima actual simulado, correspondiente a cada estación del año para el escenario A2. Los datos correspondientes al área de Doñana son:

PERIODO ESTACIONAL	CAMBIOS EN LA VARIABILIDAD
Invierno	-10% a -20%
Primavera	-40% a -50%
Verano	-
Otoño	-10% a -30%

Los cambios negativos podrían relacionarse con una mayor duración de los periodos de sequía en el escenario futuro respecto al clima actual. El guión en el recuadro de verano indica que la precipitación es demasiado escasa en el experimento de control.

5.1.3 Variaciones de otros parámetros climáticos

Los cambio esperados en la evapotranspiración para el área de Doñana en relación al periodo 2070-2100 son:

CAMBIO EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN (kg/m²)		
<i>ESTACIÓN</i>	<i>Escenario A2</i>	<i>Escenario B2</i>
Invierno	0 - 20%	0 - 20%
Verano	-20% a -40%	-20% a -40%

Teniendo en cuenta que en todas las simulaciones se han mantenido los mismos tipos de usos del suelo, lo cual puede introducir serias dificultades en la extrapolación, las reducciones máximas de las cantidades promedias de agua evapotranspirada para la mitad Sur de la Península Ibérica durante los meses de verano pueden alcanzan valores locales en torno al 60%, según el escenario A2.

En invierno, aumenta la evapotranspiración hasta un 20% en ambos escenarios, pero en verano al reducirse las cantidades de agua, ésta disminuye respecto a los datos promediados para el periodo de control.

Finalmente, en lo que se refiere a lo cambios en el módulo de viento para el periodo 2070-2100, los datos obtenidos son:

VARIACIÓN EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO (a 10 m sobre el suelo)	
<i>ESTACIÓN</i>	<i>ESCENARIO A2</i>
Invierno	Reducción hasta el 5 %
Primavera	Aumento entre el 5/ 10%
Verano	Aumento entre el 5/ 10%
Otoño	Aumento hasta el 5 %

5.1.4 Cambios del nivel relativo del mar

Las variaciones del nivel mar es un aspecto asociado al cambio climático que ha sido analizado, básicamente, a escala global. El documento de referencia general en este campo es el TIE del IPCC (2001), cuyos escenarios para Europa contemplan un aumento del nivel marino entre 0,13 y 0,68 m para mediados de siglo. No obstante, esta estimación está sujeta a un alto grado de incertidumbre, no sólo por tratarse de una media a nivel de grades regiones del Planeta que incluye referencias tanto al Atlántico como al Mediterráneo, y a otros dominios oceánicos, sino por que en este caso concreto no se han incluido los efectos de los posibles movimientos verticales de la superficie terrestre, ni la incidencia derivada de las variaciones sobrevenidas en la hidrodinámica de las masas oceánicas. Estas circunstancias son recogidas por el informe *Climate Change and the European Water Dimension* (EC, 2005), donde asimismo, y siguiendo las aportaciones realizada por Cazenave (2005), se muestra que el nivel del mar de la costa sur-occidental de la Península Ibérica ha aumentado a razón de 2,5 a 5,0 mm/año para el periodo 1993-2004 (Fig. 10).

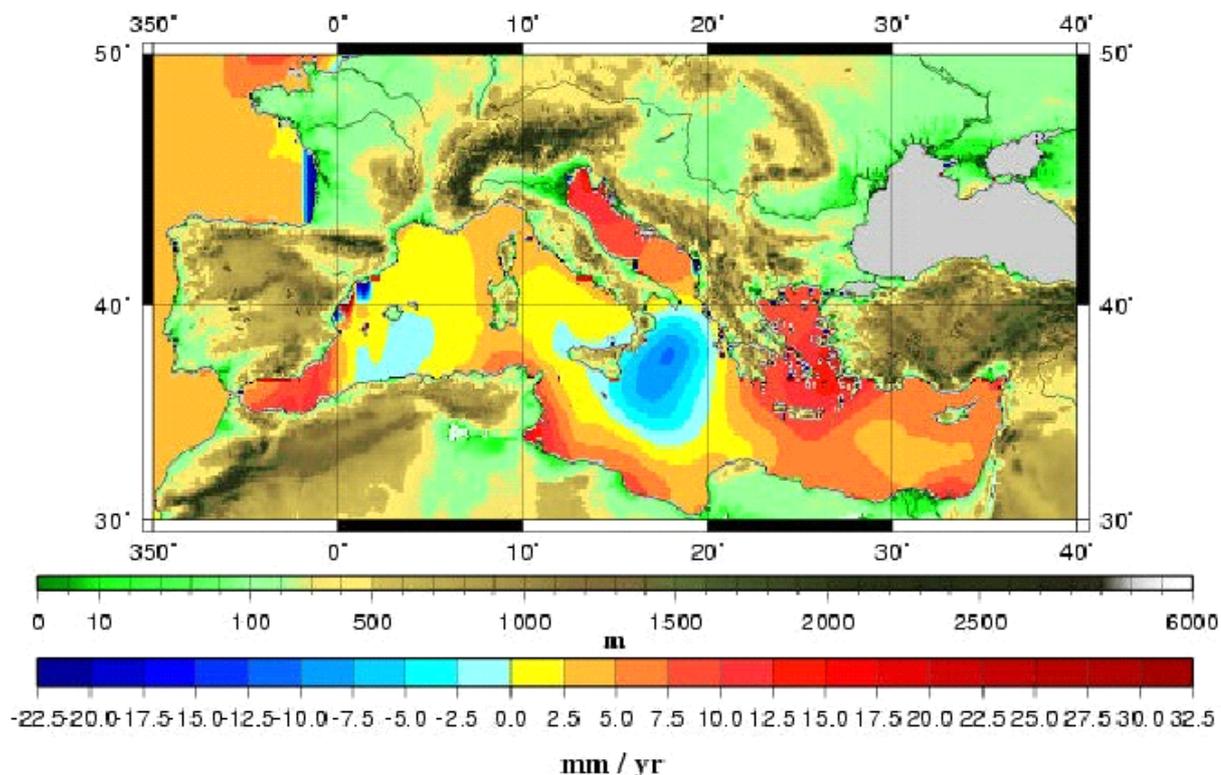


Figura 10: Estimación del cambio del nivel del mar en el área mediterránea entre enero de 1993 y febrero de 2004 (Fuente: LEGOS/CNES, Toulouse. A. Cazenave, 2005).

En relación a las previsiones futuras para finales de siglo, el aumento más probable en el Golfo de Cádiz se estima entorno a 0,5 m, afectando alrededor de 10 km de costa de Doñana y unos 100 km² de marisma (MIMAM, 2005). El litoral de Doñana vería afectado, así pues, tanto sus sistemas

de playas y dunas costeras como una parte importante de sus marismas, empezando por las de carácter mareal pero llegando igualmente al dominio aluvial de estos ecosistemas. Otro aspecto a tener en cuenta de cara a evaluar la incidencia de este fenómeno en el área de estudio es el relativo a la elevación que sufrirá el nivel de base general de la red hidrográfica superficial, así como los reajustes a los que se verán sometidos los niveles piezométricos y el posible desplazamiento de la cuña salina del sistema acuífero.

5.2 Efectos del CCI sobre los componentes del sistema natural de Doñana

*La valoración del comportamiento futuro del sistema natural de Doñana ante los efectos del cambio climático previstos para las próximas décadas muestra una clara tendencia hacia la **desertificación**. En efecto:*

- *Las previsiones referidas al conjunto de la cuenca del Guadalquivir, que podrían ser más acusadas en el área de Doñana, anuncian, según los escenarios barajados, caídas del total de los **aportes superficiales** entre un 4,5 y un 11 %. Específicamente, para lo que es la **escorrentía**, estos valores de pérdida pueden fluctuar entre un 10 y 50 %, si bien es cierto que sus valores relativos pueden aumentar localmente condicionados por un carácter errático de las precipitaciones y una importante pérdida de cubierta vegetal y de suelos, que inhiba los procesos de infiltración.*
- *Esta situación provocará una disminución de la **humedad del suelo** y un aumento del **estrés hídrico**, tanto en formaciones vegetales y comunidades concretas, como en el conjunto de los ecosistemas, especialmente en los humedales (desajustes de hidroperiodos, de ciclos fenológicos, aumento de la salinidad, disminución de la concentración de O₂ disuelto, etc.), haciendo peligrar la viabilidad de muchos de ellos, ya que a esta situación hay que añadir una caída de los caudales infiltrados al acuífero que verá alterado el régimen de humectación de su zona no saturada.*
- *En lo que respecta a la **unidad hidrogeológica** de Doñana, un horizonte de sobreexplotación y contaminación antrópica, así como salinización de la banda costera por efecto de la subida del nivel del mar, puede situarse en un plazo no muy lejano, a juzgar por los claros síntomas que ya hoy muestra en esta dirección.*
- *Los **procesos aluviales** verán aumentar su intensidad en el conjunto de las cuencas vertientes, incrementando asimismo las tasas relativas de sedimentación y salinidad en la marisma baja, mientras que, por el contrario, la marisma alta puede, una vez que desaparezcan los actuales muros que las contornean, ver disminuir las actuales tasas de sedimentación. La subida del nivel del mar afianzará el actual régimen de inundación de la marisma y extenderá la dinámica mareal a buena parte de la marisma baja.*
- *Los **procesos dunares** se verán reforzados en el conjunto de los Mantos Eólicos Litorales, tanto por que se extenderá el periodo útil para que el viento mueva los granos de arena como por el aumento de la velocidad del mismo.*
- *En lo que a la **dinámica costera** se refiere, ésta se presenta dominada por un incremento de la incidencia de los procesos erosivos: previéndose un progresivo desmantelamiento de las formaciones de playas y dunas costeras, lo que contribuirá en la reactivación de la morfodinámica eólica del sector del MEL vinculado al frente costero.*

5.2.1 Efectos sobre el Hidrosistema¹⁴

5.2.1.1 Efectos sobre las aguas superficiales

La segunda mitad del pasado siglo supuso para los ríos y arroyos afluentes del área de Doñana (sistema hídrico superficial; figura 8) un periodo de intensas alteraciones de origen humano, las cuales han desembocado en una situación caracterizada actualmente ocupaciones de cauces, pérdida de vegetación ribereña, proliferación de plantas alóctonas, malas prácticas agrícolas, deforestación de orillas, sobrepastoreo, encauzamientos y desvíos, quemas en los cauces, contaminación diversa, etc. (WWF/Adena, 2001) (Fig. 11).

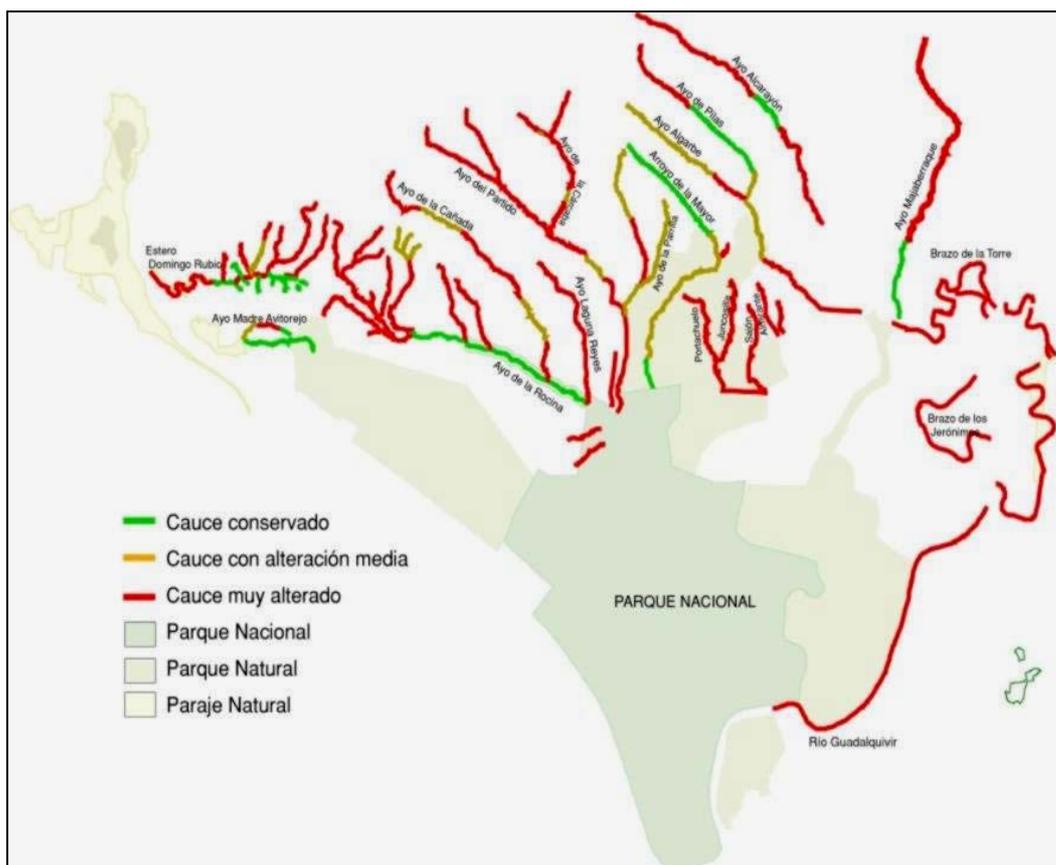


Figura 11: Estado de conservación de los cauces pertenecientes a las cuencas vertientes a Doñana (WWF/Adena, 2001)

Este proceso ha afectado en muy similares términos a los humedales del entorno del bajo Guadalquivir, así como a las propias marismas de Doñana (MOPU, 1984; CMA, 2004; CMA, 2005), habiendo reducido la resiliencia de estos ecosistemas de forma preocupante. Durante las últimas décadas, la creación de los Parque Nacional y Natural de Doñana, así como otras iniciativas como las referidas a los proyectos Corredor Verde del Guadiamar y Doñana 2005 han supuesto el principal contrapunto a esta tendencia, auspiciando importantes acciones encaminadas a la conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos.

¹⁴ Aunque por motivos operativos en el presente apartado separamos el análisis de las afecciones del CCI sobre las aguas superficiales y las subterráneas, no abandonamos el enfoque integral de análisis de las mismas, considerándolas en su conjunto como un único *hidrosistema*. Como se indicó en el apartado 2.2. (Fig. 8), el hidrosistema de referencia de Doñana incluye el tramo bajo del cauce del Guadalquivir, la cuenca del Guadiamar, las denominadas “cuencas menores” (Cañada Mayor, El Partido, La Rocina, incluidos los Sotos...), además de la Unidad Hidrogeológica 05.51 (Almonte-Marismas). Asimismo, este enfoque integral contempla también aquellos otros aspectos derivados del manejo humano que afectan, o pueden afectar en un futuro, al funcionamiento del hidrosistema, (cambios en los patrones de uso del suelo, afecciones sobre las condiciones de drenaje de los ríos, incremento en la proporción de áreas impermeables, etc.).

Pero aún así, hoy sigue cuestionándose la capacidad de adaptación de muchos de estos ecosistemas, así como sus posibilidades de autoorganización ante perturbaciones como las que pueden derivarse del CCI y del correlativo aumento de la presión humana sobre los recursos de la zona.

En lo que respecta a la disminución general que puede experimentar la aportación natural de recursos hídricos, los datos existentes actualmente para el conjunto de la Cuenca del Guadalquivir se recogen en la figura 12, donde se muestra una simulación de cómo variaría el porcentaje de la aportación hídrica total en las vertientes españolas, atendiendo a los escenarios climáticos establecidos en MIMAM (2005)¹⁵.

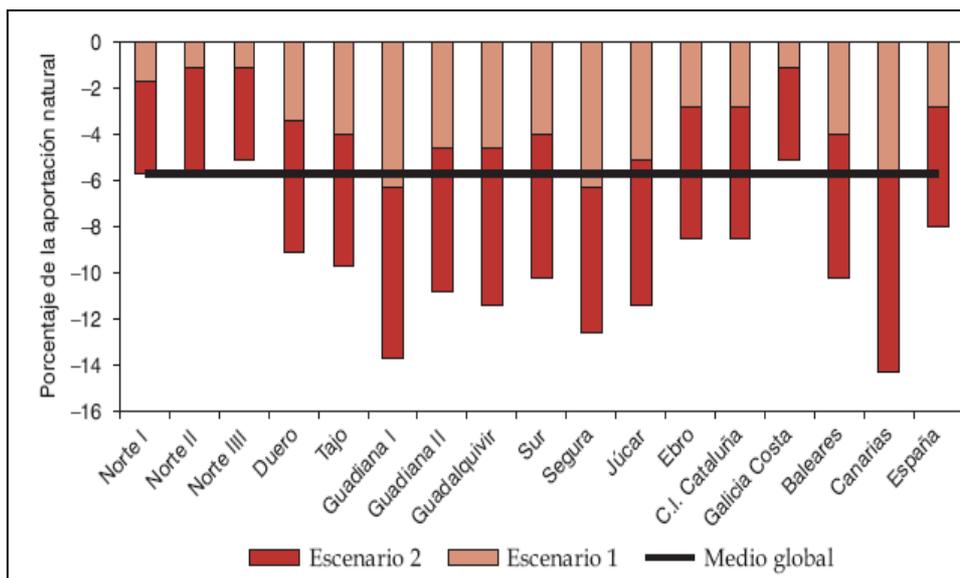


Figura 12: Porcentajes de disminución de la aportación total, para los dos escenarios climáticos 1 y 2 considerados por el MIMAM (2005), para un largo plazo de la planificación hidrológica

En general, tanto en lo que se refiere a la disminución de aportaciones hídricas totales como de los valores de la escorrentía, para el Bajo Guadalquivir, el mencionado documento aporta los siguientes datos:

- Con un aumento de 1°C en las temperaturas y sin cambios en las precipitaciones (escenario 1), la disminución de la aportación total sería, aproximadamente, de 4,5 %, variando la de la escorrentía entre el 10% y el 25%.
- Para un aumento de 1°C y una reducción en las precipitaciones del 5% (escenario 2), la disminución de la aportación total en la cuenca se estabilizaría en torno al 11%, y la de la escorrentía fluctuaría entre el 25% y el 50%.

Más en concreto, para el área de Doñana, una subida de las temperaturas medias entre 2-4 °C, que podría llegar a 5°C en verano, para la segunda mitad de este siglo, unido a una caída de las precipitaciones que, con sólo 2 °C de elevación de las temperaturas, podría suponer una disminución de hasta 110 mm/año, dibuja un panorama en el que la disponibilidad de aguas superficiales sería aún mucho menor que la expresada para el conjunto de la cuenca del Guadalquivir en la gráfica anterior.

¹⁵ Los escenarios 1 y 2 diseñados por el MIMAM a este respecto representan simulaciones de aumento de la temperatura de 1°C, sin cambio en las precipitaciones o con una disminución del 5% de éstas, respectivamente.

Todo ello supondría un riesgo real de desplazamiento del “tapón salino” hacia los sectores más internos del estuario, con efectos significativos tanto sobre la fauna como sobre la agricultura de regadío; este aspecto podría verse reforzado igualmente por la elevación del nivel del mar.

Además, se calcula que el 90% de la demanda del recurso se concentrará de Mayo a Septiembre, meses en los que, según las predicciones de disminución de precipitaciones y elevación de temperaturas, pueden generarse situaciones críticas para poder satisfacerla. A este respecto Ayala-Carcedo (2002) calcula, con respecto a los valores de 1995, un aumento de 8,9 % del consumo hídrico de los regadíos de la cuenca del Guadalquivir para 2060.

Por otra parte, el esperado incremento de variabilidad estacional e interanual de las precipitaciones, tendentes a la concentración de los periodos de lluvia y la intensificación de los aguaceros, inducirá un comportamiento en similar sentido de la escorrentía superficial. La consecuencia inmediata del afianzamiento de este modelo, caracterizado por unas precipitaciones y una escorrentía erráticas y concentradas, es una pérdida progresiva de la vegetación y un incremento de la erosión del suelo. No obstante, a escala local, la escorrentía superficial podría sufrir un incremento relativo a causa de la potencial disminución de la infiltración que tendrá lugar como consecuencia de la intensificación de los actuales procesos de pérdida de suelo (cambios de uso, deforestación, incendios...), así como por la compactación del mismo debido a la presión ganadera, etc.; todo lo cual también repercutirá de manera negativa en el régimen de alimentación hídrica de los humedales, especialmente de los de carácter epigénico.

Por otra parte, unos veranos más largos, secos y calurosos causarán un aumento en la evapotranspiración, lo cual acentuará el fuerte estiaje que ya presenta balance hídrico de la zona. Estas circunstancias exacerbarán el estrés hídrico de los ámbitos acuáticos (desajustes en el hidropereodo con repercusiones en el ciclo fenológico, aumento de la salinidad, disminución de la concentración de O₂ disuelto...), lo cual es especialmente relevante en relación con los humedales del área de Doñana, donde la práctica totalidad de ellos, incluidas sus marismas, funcionan con un marcado carácter estacional. Bajo estas condiciones es posible que algunos de estos ecosistemas húmedos lleguen a desaparecer, especialmente los que dependen directamente de la interceptación del agua de lluvia gracias al desarrollo de horizontes hidromorfos de comportamiento semipermeable (Borja, C. en preparación).

En lo que respecta a la calidad de las aguas, por último, cabría esperar un incremento de la concentración tanto de metales pesados como de aquellos otros elementos de origen urbano y agrícola, aunque sólo sea atendiendo a la prevista disminución de los aportes hídricos totales y al aumento de la evaporación. Sin embargo, para poder cuantificar esta relación soluto / disolvente, sería necesario considerar también las variaciones que pudieran experimentar las mencionadas fuentes de contaminación a lo largo del periodo contemplado (incremento de vertidos sólidos, industriales y agroindustriales; efectividad de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas; concentración pesticidas y fertilizantes), de lo que poco podemos decir por el momento.

5.2.1.2 Efectos sobre las aguas freáticas

Las aguas subterráneas juegan un papel clave tanto en lo que se refiere al desarrollo socio-económico (regadíos, abastecimientos diversos...) como desde el punto de vista de la conservación de los ecosistemas en un país de tan marcado carácter mediterráneo como España, en especial en su mitad sur. Este aspecto cobra especiales connotaciones en casos como el de la comarca de Doñana, donde llega a ser un recurso de alto nivel estratégico.

Los efectos del cambio del clima incidirán de manera directa sobre este componente del hidrosistema, condicionando la posibilidad de recarga del acuífero ya que ésta depende, en primera instancia, de las aportaciones totales. De manera indirecta, el efecto de la subida de las temperaturas y la disminución y concentración de las precipitaciones, como ya se ha indicado,

conducirán a un deterioro y una erosión del suelo, perjudicando los procesos infiltración y percolación que tienen lugar antes de que se produzca la recarga efectiva del acuífero.

En concreto, la Unidad Hidrogeológica 05.51 (antiguo Acuífero nº 27 Almonte-Marismas) presenta un comportamiento estrechamente vinculado al régimen de precipitaciones, registrando fuertes variaciones tanto en su régimen temporal como desde el punto de vista de su expresión espacial, debido no sólo a su gran extensión (3.500 km²) y a la diversa caracterización y disposición de los materiales que lo componen, sino igualmente al intenso régimen de extracciones al que se viene viendo sometido desde hace décadas (CHG, 2004). Por ello, una reducción de los caudales infiltrados vendría a reforzar la situación de fuerte presión antrópica existente sobre el acuífero (Fig. 13), que, a día de hoy, empieza ya a presentar riesgos de contaminación de origen agrícola y a dar síntomas de sobreexplotación, principalmente a consecuencia de (CMA, 2004)¹⁶:

- la existencia de bombes locales que generan conos de depresión de envergadura considerable, cuyo mínimo puede desplazarse algo espacialmente en función de la ubicación de los pozos que estén extrayendo en cada momento, y que pueden llegar o no a recuperarse durante la estación húmeda.
- unos descensos acumulados no recuperados durante las últimas décadas que mantienen en régimen deficitario determinados sectores del acuífero, los cuales no tienen posibilidad de recuperarse durante la estación de las lluvias.
- el incremento del gradiente hidráulico vertical derivado de la concentración de las extracciones en las capas bajas del acuífero, que intensifica el abatimiento de la capa freática superficial.

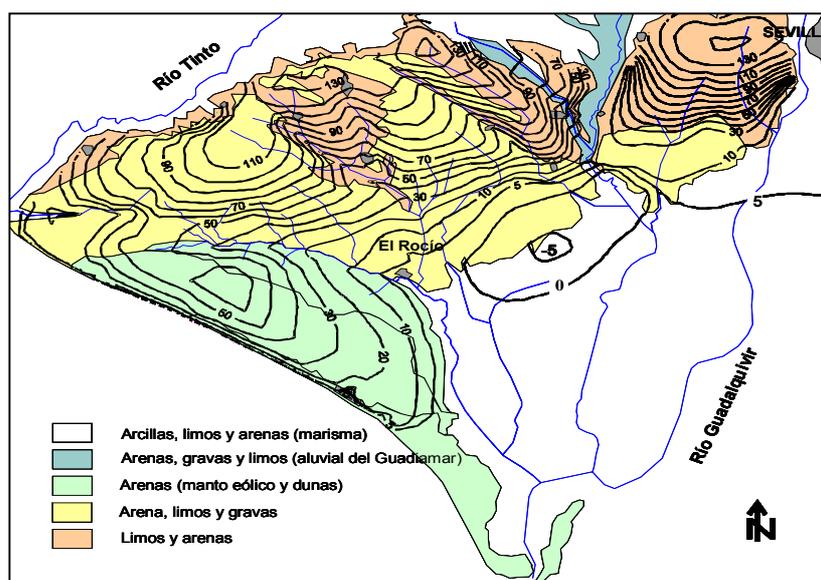


Figura 13: Caracterización litológica del acuífero de Doñana y configuración de la piezometría regional. Obsérvese como ésta reproduce la superficie topográfica en la mayor parte del área, salvo en los sectores de explotación intensiva del recurso (Manzano *et al.*, 2002)

En efecto, el régimen hidrológico natural de sectores como el de Hato Blanco, al norte del Parque Nacional, o el de los Sotos, al suroeste, presentan un importante abatimiento del nivel freático (entre 1 y 5 m) a causa de los bombes agrícolas, como ya detectaron los estudios realizados para la década de los ochenta por organismos como la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG), el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) o el antiguo Instituto Andaluz de

¹⁶ A este respecto puede consultarse, entre otros, los siguientes trabajos: Llamas, 1988; Suso y Llamas, 1990, 1993; Trick, 1998; UPC, 1999; Custodio, 2000; Manzano, 2001 y 2002.

Reforma Agraria (IARA), y más recientemente por la CHG (2004), a partir de las lecturas realizadas sobre la red básica de control piezométrico del acuífero durante los años 2003 y 2004. Así pues, y a pesar del alto grado de incertidumbre que aún reina sobre este asunto, a escala local y sobre la base de la caracterización climática barajada por los escenarios que se contemplan en este documento para el área de Doñana (*vid. supra*), podría pensarse que en las próximas décadas se dará un sensible rebaje de los caudales acumulados por el antiguo Acuífero 27. No sólo por la disminución prevista de las aportaciones totales y el incremento de la evaporación que acompañará al aumento de las temperaturas, según se vio anteriormente, sino también por la caída que experimentarán los niveles de humedad del suelo, cuya saturación, recuérdese, es una condición absolutamente imprescindible para iniciar el proceso de recarga del acuífero¹⁷.

Otro efecto del aumento térmico global a tener en cuenta en relación a la componente subterránea del hidrosistema de Doñana es el aumento del nivel mar y el posible desplazamiento de la interfase salina. Aunque a día de hoy no se detectan síntomas de salinización del acuífero, las previsiones acerca del comportamiento de la recarga y del régimen de extracciones hacen pensar en una más que probable afección del mismo en este sentido (CHG, 2005), así como en un reajuste al alza del nivel de base para la centuria en curso. Una valoración integral de la situación a la que pueden verse abocadas las reservas hidrogeológicas durante las próximas décadas debe contemplar además que, bajo una menor disponibilidad del recurso, podría producirse una intensificación de las extracciones, principalmente, a fin de mantener los niveles de producción agrícola. Ha de entenderse así pues que, a medio plazo, podría alcanzarse un cuadro típico de sobreexplotación e incremento de sales en suelos y efluentes de riego, que a la larga podría llegar a impedir tanto el mantenimiento de los cultivos como el adecuado funcionamiento de los ecosistemas de Doñana, en especial de sus humedales y sus típicas formaciones de *monte negro*.

5.2.2 Efectos sobre el Morfosistema¹⁸

5.2.2.1 El morfosistema aluvial

Este ámbito de la morfogénesis del área de Doñana hace referencia al conjunto de procesos morfodinámicos relacionados con las aguas de escorrentía, por una parte, en el ámbito de las cuencas vertientes y, por otra, en el seno de las marismas no mareales del Guadalquivir, las cuales, como ya se señaló con anterioridad, componen la práctica totalidad de las marismas protegidas del Parque Nacional (Montes *et al.*, 1998).

El aumento de la temperatura, la reducción de los aportes hídricos y el incremento de su variabilidad interanual, así como la subida de las tasas de la evapotranspiración que prevén los escenarios aquí planteados provocarán –en mayor o menor medida dependiendo de la presión antrópica a la que actualmente estén sometidas las diferentes cuencas vertientes– una intensificación de los procesos erosivos en laderas y cauces, así como una disminución de los periodos de inundación y un incremento de la salinidad en la marisma aluvial, a la que también llegarán más sedimentos y más contaminantes.

¹⁷ La previsión realizada por la Comisión Nacional del Clima (1994) a este respecto, habla de una disminución de la humedad del suelo cercana a un 30% en los ámbitos más vulnerables del sur peninsular (López Bermúdez, 2000), supuesto un aumento de la temperatura de 2,5 °C y una reducción de la precipitación media anual de un 10 %.

¹⁸ En Geomorfología, un conjunto de procesos, depósitos y modelados vinculados entre sí por un mismo marco genético (climático, dinámico o estructural), los cuales se organizan de manera interdependiente y evolucionan solidariamente en el tiempo componiendo un *sistema morfogenético*. Desde este punto de vista, concebimos el *morfosistema* como la parte tangible (formaciones superficiales y modelado) de la dinámica geomorfológica de un determinado ámbito de la superficie terrestre. El morfosistema de Doñana viene caracterizado por la conjunción de formaciones superficiales y modelados asociados, básicamente, a cuatro sistemas considerados como morfosistemas: el Aluvial y el Mareal (ecosistemas de marisma); el Eólico (ecosistemas dunares); y el Costero (ecosistemas de playas). Como parte no viva del ecosistema (o *geosistema*), los componentes del morfosistema de Doñana pueden verse afectados de muy distinto modo y grado por los efectos, tanto directos como indirectos, del CCI.

Sin embargo, y atendiendo al relativo aumento que, como ya hemos visto, puede experimentar localmente la escorrentía superficial a causa de la pérdida de suelos y el descenso de la infiltración¹⁹, podría darse un aumento relativo de los caudales aportados a la marisma con ocasión de eventos lluviosos especialmente intensos. A este respecto cabe apuntar que se trataría de situaciones en las que se incorporarían grandes cantidades de material arenoso a la marisma. Algo que, por otra parte, viene ocurriendo ya con proporciones catastróficas desde hace décadas, muy especialmente en relación con la cuenca del Partido, a causa de la canalización de los últimos kilómetros de su cauce (Sendra, 2002; Sendra *et al.*, 2002), y de forma generalizada en el conjunto de las cuencas vertientes por el NE de las marismas y de los Sotos, a causa de los cambios de uso registrados por las mismas durante la segunda mitad del pasado siglo (Gómez y Borja, 2000; Borja y Gómez, 1999; 2001; 2002).

El hecho de que los materiales aportados tanto por la riada ordinaria como por este tipo de inundaciones extraordinarias se hayan depositados sobre una marisma cercada en su contorno meridional (primero de forma parcial desde los años setenta por la denominada “montaña del río”, y luego totalmente desde 1998 por su prolongación) ha inducido un importante incremento de las tasas de sedimentación (Urdiales, 1999), con los consiguientes desajustes morfo-topográficos y ecológicos. Cabe esperar que si, como ha propuesto recientemente la Comisión Científica del Proyecto Doñana 2005, se procede a la retirada de los obstáculos que impiden el drenaje natural de esta marisma aluvial, asistiremos a un acortamiento de los tiempos de tránsito de los flujos. Ello significaría una reducción de la fase inundada de la marisma, unas menores cotas de la lámina de agua y un aumento de la competencia de la escorrentía. Todo ello redundará en una caída de las tasas de sedimentación y salinización (al menos en las partes más altas del relieve como las vetas o los paciles), así como en una tendencia del micromodelado a refrescar sus formas. Visto de este modo, el hecho de la desaparición de los muros de la marisma aluvial ya supone, por sí mismo, una medida de mitigación de los efectos del cambio climático sobre el morfosistema de la marisma, al menos en un corto/medio plazo.

No obstante, de cara a valorar un comportamiento a más largo plazo, las investigaciones realizadas sobre la llanura aluvial del Guadalquivir en el entorno de Sevilla en relación con los cambios climáticos y las variaciones del nivel del mar (Barral, 2004; Borja y Barral, 2005) nos informan de que los episodios fríos y de bajos niveles marinos se asocian con etapa de estabilización de los procesos de sedimentación; mientras que los episodios cálidos con altos niveles de base favorecen los procesos de aluvionamiento y acumulación de sedimentos (pérdida de competencia de flujos, reforzamientos de la dinámica divagante de los cauces, etc.). Extrapolando este comportamiento de la llanura aluvial a las marismas aluviales, y atendiendo a las previsiones existentes para finales de siglo de una subida del nivel del mar de 0,5 m en el golfo de Cádiz, cabe pensar que, a largo plazo, este tramo final del sistema fluvial se comportará de manera similar a como lo hizo durante las épocas cálidas del pasado, esto es: produciendo un aumento generalizado de sedimentos en las marismas.

5.2.2.2 *El morfosistema mareal*

El morfosistema mareal hace referencia al ámbito de la marisma de Doñana cuyo cuadro hidrogeomorfológico y ecológico se ve gobernado por los procesos asociados a la fluctuación diaria de la marea. Se trata de un ecosistema escasamente representado en el Parque Nacional (Montes *et al.*, 1998) y extremadamente sensible a los efectos de las variaciones relativas del nivel del mar.

La subida del nivel del mar en litoral de Doñana provocará un avance del ámbito de actuación de la morfogénesis mareal hacia el interior de las actuales marismas aluviales, haciendo que se expandan el dispositivo de caños de marea y su típico modelado dendrítico, así como la influencia

¹⁹ Procesos que cabría relacionar no sólo con el cambio que puedan experimentar los parámetros climáticos, sino también con la intensificación de manejo antrópico de las cuencas.

de los procesos de flujo y reflujo a los que se asocian. Esta situación será tanto más nítida en cuanto se hagan efectivos los primeros decímetros de elevación de la rasante marina y la eliminación de la “montaña del río” y su prolongación de 1998. Un aumento del nivel de base traerá consigo una menor incidencia de los procesos erosivos de las márgenes de los tramos finales de los canales; siendo posible que estos fenómenos se trasladen aguas arriba conforme se vayan reajustando los nuevos sectores de influencia mareal.

5.2.2.3 El morfosistema eólico

Las dunas del *Manto Eólico Litoral de El Abalarío-Doñana* (Borja y Díaz del Olmo, 1996; Montes *et al.*, 1998) ocupan el tercio sur-occidental de la superficie conjunta de los Parques Nacional y Natural de Doñana, caracterizándose por ser una formación geológica bastante compleja tanto genética como funcionalmente hablando (Fig. 14; Borja, C., en preparación).

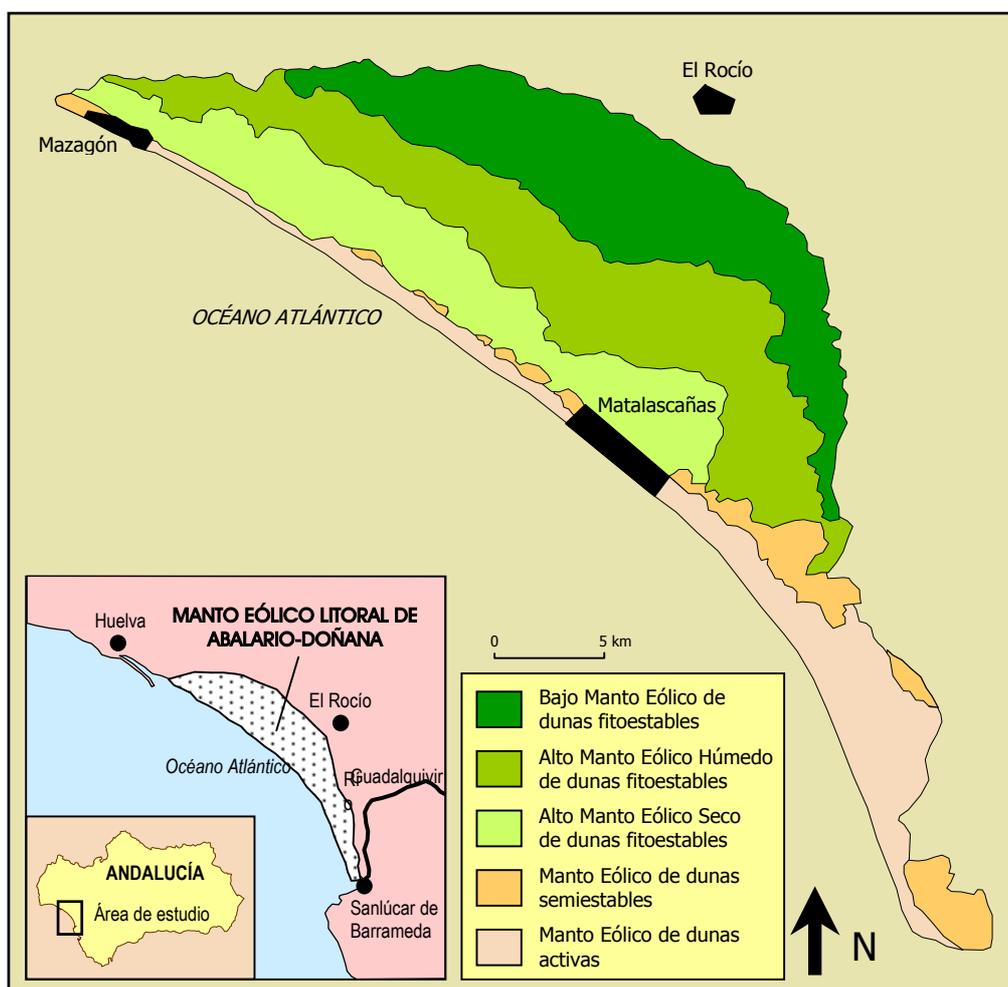


Figura 14: El Manto Eólico Litoral de El Abalarío-Doñana, con indicación de las unidades morfo-hidro-sedimentarias y paleogeográficas que lo componen (Borja, C. en preparación)

Según se aprecia en la figura 14, en este complejo eólico de la costa onubense se distinguen cinco unidades morfo-sedimentarias superpuestas de diversa consideración tanto en lo que respecta a su estabilidad (mantos de arenas fitoestables, de arenas semiestables y de arenas activas), como en lo que se refiere a su génesis y a su relación con el sistema palustre de la zona (Mantos bajos y húmedos vs. Mantos altos y secos) (Borja *et al.*, 2005).

La incidencia del cambio climático sobre los elementos del morfosistema eólico de Doñana afectarán especialmente al grado de estabilidad de las arenas que lo componen, así como a la

dinámica del sistema palustre asociado muy especialmente al *Alto Manto Eólico húmedo*, y a las cañadas, caños, surgencias y rezumes ligados al *Bajo Manto Eólico*. Se trata, como en los casos anteriores, de cambios substantivos en lo que a la caracterización y funcionamiento del sistema natural se refiere.

La importante reducción de la humedad del suelo prevista para la zona (derivada, como ya se indicó, de la combinación entre un descenso de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas y la evapotranspiración) provocará un incremento de los periodos potencialmente aptos para la removilización de los granos de arena por el viento, lo cual se verá ayudado por la pérdida de vegetación y el previsible aclarado del matorral. Si a ello unimos el aumento del 5 % de la velocidad del viento previsto de aquí al 2100 para el área del Golfo de Cádiz, todo apunta a que el próximo siglo podría asistirse a una reactivación de los procesos eólicos en los ecosistemas dunares de Doñana. El abatimiento, tanto por causas climáticas como antrópicas, de los niveles del acuífero en aquellos sectores donde la capa freática se mantiene cercana a la topografía del terreno o incluso la corta, contribuiría igualmente a la intensificación de la morfodinámica eólica, ya que reforzaría la aireación de la zona no saturada aminorando con ello la cohesión entre los granos de arena.

Esta situación tiene más posibilidad de acaecer en las primeras décadas del siglo y cuanto más alejado de la costa nos situemos hacia el interior del *Manto Eólico Litoral*, ya que de forma correlativa con la subida del nivel del mar se prevé una recuperación del nivel de base, la cual será tanto más efectiva, desde el punto de vista de neutralizar la reactivación eólica, conforme nos acerquemos al final de siglo y/o cuanto más cerca de la costa nos ubiquemos. Bajo estas últimas circunstancias cabría pensar en el afianzamiento a largo plazo de unas condiciones morfodinámicas tendentes a la estabilización eólica sólo en los sectores topográficamente más deprimidos de los campos de dunas.

5.2.2.4 El morfosistema costero

Corresponde a los ámbitos de Doñana vinculados genéticamente a la morfogénesis costera, esto es: a la combinación de procesos, modelados y depósitos controlados por agentes como el oleaje, las mareas y la corriente de deriva litoral, principalmente. El más genuino representante de este morfosistema es la conocida Flecha Litoral de Doñana, tanto en su parte activa (playas actuales) como en lo que se refiere a los depósitos coetáneos de la línea de costa de momentos del pasado (Marismillas). Los primeros se relacionan directamente con los cambios que puedan derivarse de las variaciones del nivel del mar, mientras que los sectores de playas antiguas se verán más condicionados por aquellos otros procesos que tengan que ver con las fluctuaciones de los niveles freáticos.

En los ámbitos de Doñana dominados por el sistema morfogenético costero, los efectos más significativos del cambio climático sobre el medio natural estarán protagonizados, como acaba de señalarse, por la subida del nivel del mar. Esta remontada de varios decímetros de la rasante de la masa oceánica provocará un importante desajuste de los procesos naturales cuyo resultado genérico será un incremento de la erosión de la línea de costa (EEA, 2004).

Estos efectos vendrán a sumarse a los fenómenos que, en esta misma dirección, están produciéndose desde hace años a todo lo largo de la costa onubense, merced a la desarticulación de la deriva litoral y a la alteración del balance erosión-sedimentación que provoca la interposición de grandes infraestructuras lineales localizadas en el medio marino (muros, defensas portuarias, espigones, etc.), por no incluir aquí otros componentes del problema como puede ser el relativo a la disminución de los aportes detríticos fluviales a causa de su neutralización, aguas arriba, en el fondo de los pantanos.

Las previsiones para las playas de Doñana de este conjunto de circunstancias abundan, en detalle, en que se asistirá a un incremento de la erosión de las formaciones de playa así como al

desmantelamiento selectivo de algunos sectores de la *duna costera*. La duna costera es un elemento morfosedimentario de tránsito entre el morfossistema costero y el dunar (su génesis es de carácter mixto: hidráulico y eólico), por lo que, indirectamente, su devastación se convierte en un nuevo acicate para la reactivación eólica de los campos de dunas.

Este escenario de erosión de playas y duna costera de la flecha litoral de Doñana a causa de una elevación del nivel del mar ha quedado constatado fehacientemente por los estudios de reconstrucción paleogeográfica llevados a cabo sobre la zona durante los últimos años (p.e. Zazo *et al.*, 1996; Lario, 1996; Borja *et al.*, 1999). Dichos trabajos detectan hasta tres fases erosivas asociadas a altas posiciones del nivel del mar para los últimos 4.500 años (Fig. 4).

5.2.3 Efectos sobre el Edafosistema

Como ya hemos visto, los suelos juegan un importantísimo papel o sólo en lo que se refiere al mantenimiento de los procesos biológicos, sino también en relación a los de carácter hidrológico, geomorfológico, etc., así como en lo que atañe al desarrollo socio-económico de los grupos humanos (agricultura, ganadería, actividad forestal...). Las formaciones edáficas del tipo suelos sobre arenas, suelos aluviales y suelos hidromorfos, en sus diversas modalidades, son los que más abundan en el entorno de Doñana (Fig. 15). Se trata de suelos en general poco desarrollados, condicionados por factores limitantes diversos (material de partida poco alterable, exceso de agua en los perfiles, altos niveles de contenidos en sales...), y localmente sometido a una importante presión humana (usos inadecuados, sobrepastoreo, métodos de riego defectuosos, incendios forestales, abandono de cultivos, etc.) que induce (y seguirá induciendo en un futuro de no cambiar mucho las cosas) tanto una pérdida de nutrientes como una erosión acelerada de los mismos.

Según datos aportados por el MIMAN (2005), el aumento de temperatura favorecerá la pérdida de carbono orgánico existente en el suelo, y aunque sus niveles dependerán también de lo que ocurra con las precipitaciones y el uso que el Hombre haga del mismo, se calcula que puede llegar a disminuir entre un 6 y un 7 % por cada grado centígrado de aumento térmico. Sin embargo, el principal efecto del cambio climático sobre los suelos del área de Doñana quizá sea el que provoque el aumento del periodo durante el que estos se encontrarán exentos de humedad y/o sometidos al influjo de altos índices de evapotranspiración. Esta situación favorecerá el aumento de los índices de salinización así como su degradación físico-química.

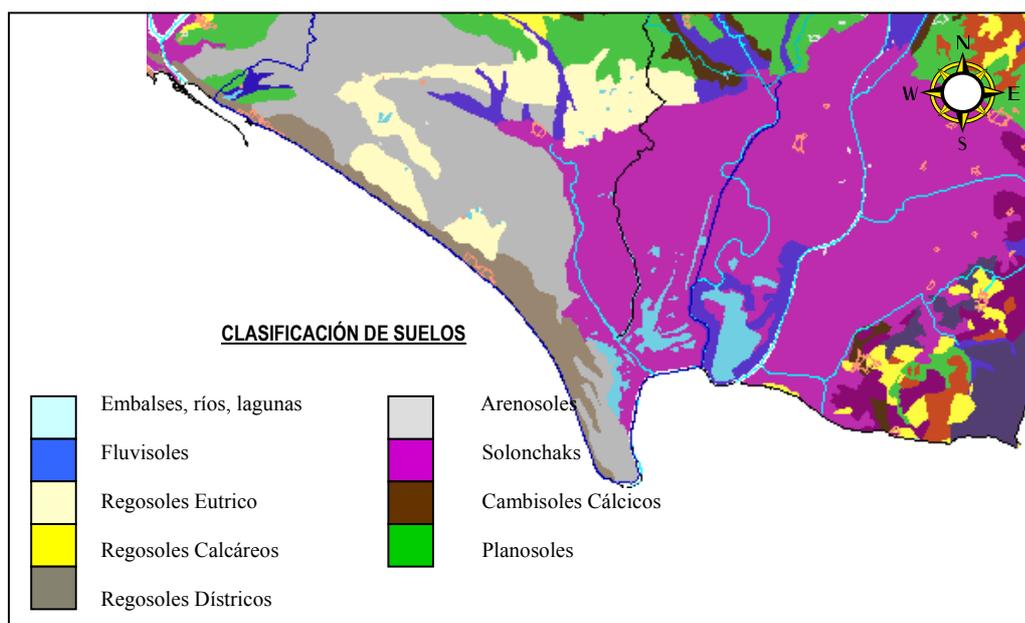


Figura 15: Cartografía de los principales grupos de suelos del área de Doñana (CMA, Junta de Andalucía)

En efecto, el aumento de la evapotranspiración y/o la escorrentía provocará situaciones de pérdida rápida de la lámina de agua con la consiguiente precipitación de sales en superficie; pero además, esta tendencia a la xericidad hará de los suelos hidromorfos, en particular, unas formaciones más vulnerables a la erosión, al tiempo que la aireación de los perfiles favorecerá los procesos de oxidación de sus componentes metálicos. La existencia de suelos hidromorfos con rasgos podsólicos (o sea, con horizontes B compuesto de limos sueltos de carácter cenicientos) asociados frecuentemente al fondo de los humedales del sistema palustre de El Abalario-Doñana (Borja, F., 1992), así como de una marcada dinámica hidro-eólica caracterizando el fondo de otros mucho durante los periodos estivales (Borja, C., en preparación) nos hace pensar en que, circunstancias climáticas como las anunciadas más arriba no vendrán sino a reforzar la degradación física de estos suelos, de por sí tan importantes en el mantenimiento de los humedales del Manto Eólico Litoral, dada su capacidad de impermeabilizar parcialmente un sustrato tan transmisivo como el compuesto por arenas dunares.

Otro mecanismo de transformación de los suelos de Doñana derivado del cambio climático es el que afectará a todos aquellos sectores de marisma aluvial que se verán inundados por la subida del nivel del mar. Tanto en aquellos casos afectados por las mareas ordinarias como en el caso de áreas afectadas por eventos extraordinarios, el aumento de la salinidad en los suelos se plantea como un hecho futuro incontestable.

5.3 Evaluación de efectos del CCI sobre los ecosistemas de Doñana

Para la evaluación de los efectos derivados del CCI sobre los ecosistemas de Doñana se adopta un enfoque *ecosistémico* (p.e. Mitchel, 1999; Montes *et al.*, 1998). Desde esta aproximación se desarrollan los principios metodológicos básicos de la propuesta de *regionalización ecológica* existente para el conjunto de la Comunidad Autónoma de Andalucía (Borja *et al.*, 2004)²⁰, basada en la Clasificación Jerárquica de Ecosistemas a partir de criterios genéticos-funcionales (Anexo I). Desde el punto de vista instrumental, dicha evaluación se apoya en el *Mapa Ecológico de Doñana* (escala 1:40.000) editado por la Consejería de Medio Ambiente (Montes *et al.*, 1998).

Según se recoge en el mencionado Anexo I, la propuesta de Regionalización Ecológica de Andalucía incluye diez órdenes escales decrecientes de clasificación de ecosistemas (desde *ecozona* a *ecoelemento*). Cada uno de ellos se define atendiendo a una serie *componentes estructurales* que actúan a modo de *factores de control* de cara a la identificación de cada uno de lo ecosistemas clasificados por nivel escalar. Para el caso de la determinación de los ecosistemas del área de Doñana se han utilizado tan sólo dos de estos niveles de análisis, los correspondiente a las categorías de *ecodistrito* y *ecosección*; no obstante, para la valoración en detalle de algunos aspectos concretos también se han considerado las características de los ecosistemas de órdenes escalares de menor rango, en concreto el de *ecotopo* (Figura 16).

Orden escalar	COMPONENTES ESTRUCTURALES (Factores de Control)
Ecodistrito	-VARIETADES MESOCLIMÁTICAS -BALANCE MORFOGÉNESIS/EDAFOGÉNESIS (STATUS DE SISTEMAS MORFOGENÉTICOS) -TIPOS FORMACIONES SUPERFICIALES Y MESOMODELADO (F MAYORES) -BALANCE PRECIPITACIÓN / ESCORRENTÍA / INFILTRACIÓN
Ecosección	-FACIES MESOCLIMÁTICAS -VEGETACIÓN EDAFOFILA -ASOCIACIONES DE FORMACIONES SUPERFICIALES Y MESOMODELADO (FORMAS INTERMEDIAS) -INTERACCIÓN DE PROCESOS HIDROLÓGICOS SUPERF. Y FREÁTICOS
Ecotopo	-CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS -PROCESOS MORFODINÁMICOS Y MESOMODELADO (FORMAS MENORES) -TIPOS DE DEPÓSITOS Y SUELOS - COBERTURA VEGETAL - FLUJOS HÍDRICOS LOCALES (SUPERFICIALES, SUBSUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS)

²⁰ Esta propuesta de REA ha servido de base a documentos de planificación como el recientemente aprobado Plan Andaluz de Humedales, siendo asimismo un referente básico tanto en el borrador de Plan Director de la RENPA y en el del Blanco sobre infraestructuras viarias y Espacios Naturales Protegidos, éste último actualmente en redacción por encargo de las Consejerías de Obras Públicas y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

Figura 16: Extracto del cuadro de la Clasificación General de ecosistemas de la Regionalización Ecológica de Andalucía elaborada dentro del marco del Plan Director de la RENPA (Borja *et al.*, 2004)

Los ecosistemas a escala de *ecodistrito* y *ecosección* pertenecientes al Parque Nacional de Doñana se recogen en la figura 17, donde estos últimos se han identificado con una numeración corrida manteniendo al mismo tiempo la estructura jerárquica que deviene de los principios que rigen el tipo de clasificación usada (*vid. supra*).

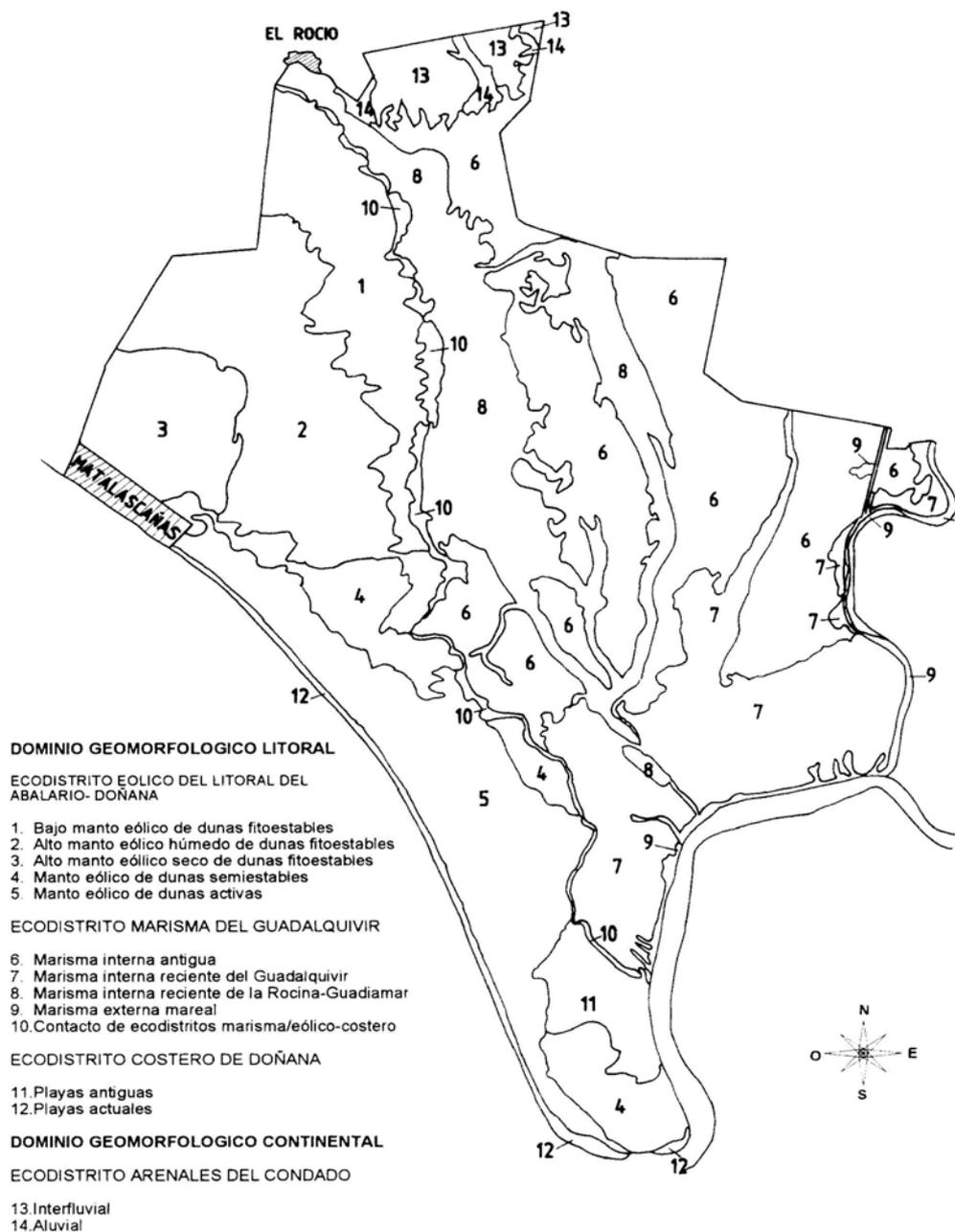


Figura 17: Mapa de ecosistemas a nivel de *Ecosección* del Parque Nacional de Doñana, en el contexto con referencia al orden escalar superior o *Ecodistrito* y al *Dominio Geomorfológico* en el que se encuadran (Montes *et al.*, 1998)

En lo que se refiere a los contenidos incluidos en el presente apartado, junto a la identificación de los elementos claves de cada ecosistema a escala de *ecosección* y el análisis de los efectos que el CCI pueden tener sobre su estructura y funcionamiento, se han añadido algunas reseñas recuadradas referidas a lo que podrían suponer dichos efectos sobre determinadas especies significativas de fauna y vegetación en el contexto de los ecosistemas de las reservas de Doñana. En el caso de la fauna se han elegido los casos de la cerceta pardilla, el linco ibérico y algunos

otros representantes de invertebrados acuáticos, peces, anfibios y reptiles, y en el de la vegetación el de la castañuela y los saladares (*vid. infra*).

5.3.1 Ecosistemas Aluviales

Estos ecosistemas se sitúan en el ángulo norte del Parque Nacional, e incluyen áreas de carácter interfluvial, con pinar (*Pinus pinea*), alcornoque (*Quercus suber*), coscojal (*Quercus coccifera*) y lentiscar (*Pistacea lentiscos*), además de pastizales y juncuales perimarismenos, así como áreas vinculadas a los lechos fluviales donde predominan las fresnedas (*Fraxinus angustifolia*). En cualquiera de estos dos ámbitos es frecuente la aparición humedales tanto de carácter epigénico como hipogénico de funcionamiento estacional.

Los cambios termo-pluviométricos, el déficit de humedad edáfica, el abatimiento de los niveles freáticos, así como el correspondiente estrés hídrico derivados del CCI tendrán unas claras repercusiones sobre estos ecosistemas que, como consecuencia de todo ello, podrían ver reducida la densidad de la masa vegetal y sustituidas las especies arbóreas por otras de matorral menos dependientes del agua. Alcornocales y fresnedas, por su alto requerimiento de suelos húmedos y frescos serán, posiblemente, los que reciban estos impactos de manera más llamativa.

Otro problema añadido es el posible aumento de enfermedades o plagas que puede darse bajo las nuevas condiciones climáticas de inviernos más cálidos que se esperan en las próximas décadas, dándose el caso de que algunas de las especies responsables de las mismas podrán llegar a completar dos ciclos biológicos en un año.

En lo que corresponde a los humedales incluidos en este sector del Parque y su prolongación hacia el norte, tanto aquellos alimentados por aguas superficiales como los que se nutren de flujos subterráneos, éstos verán reducidos sus aportes e incrementadas sus tasas de evaporación, dándose en el primero de los tipos un incremento añadido de sedimentos vía escorrentía superficial, lo que condicionará aún más su funcionamiento natural.

5.3.2 4.3.2. Ecosistemas de Marismas

5.3.2.1 Marisma Interna Antigua

Se corresponde con la tradicional “marisma alta” del Guadalquivir, la cual se caracteriza por la presencia de formaciones vegetales del tipo saladar de almajo salado (*Arthronemum macrostachyum*), juncuales (*Juncus subulatus*), bayuncales (*Scirpus litorales*), pastizales anuales y especies helofíticas. Es típica de esta alta superficie de marisma la presencia de *lucios*, los cuales constituyen formaciones palustres de carácter epigénico temporal estacional.

Siempre y cuando se lleve a cabo la eliminación de los muros que hoy cercan este medio natural, los ecosistemas de la marisma alta posiblemente vean reducidos sus niveles de salinidad y sus tasas de sedimentación durante la primera etapa del periodo cronológico evaluado, ya que esta liberación de los flujos reducirán el tiempo de tránsito de la masa de agua de la riada a través de la marisma. No obstante, los efectos progresivos de la subida del nivel del mar terminarán, avanzado el siglo, revertiendo esta tendencia, llegándose así a una situación de generalización de los fenómenos de colmatación. Todo ello inducirá un proceso de paulatino reajuste de la vegetación de este ecosistema, en el que las especies adaptadas a diferentes niveles de salinidad predominarán alternativamente en el tiempo.

CERCETA PARDILLA

La cerceta pardilla (*Marmaroneta angustirostris*), a pesar de ser un pato nidificante de los más comunes de las marismas del Guadalquivir a finales del siglo XIX, ha visto mermada su población en las últimas décadas convirtiéndose en una especie mundialmente en peligro, siendo una de sus principales amenazas la destrucción de humedales salobres someros temporales o semi-permanentes, detectándose rara vez en humedales artificiales y permanentes.



La mayoría de las poblaciones se localizan en el sudoeste de Asia y en el Magreb, siendo España el único país europeo donde se encuentra. Esta especie se adapta a las variaciones espacio-temporales de sus hábitats, desplazándose y realizando una gran inversión reproductiva cuando encuentra unas condiciones adecuadas. Al tener una reproducción muy tardía (entre finales de primavera y principio de verano), tiene serios problemas para criar.

El cambio climático acentuará la amenaza sobre esta especie provocando su posible desaparición de Doñana, debido al aumento de la duración del periodo de estiaje previsto para las próximas décadas, pudiendo desaparecer drásticamente como ocurrió en 1995 (año extremadamente seco).

(Basado en: Green, 2002)

5.3.2.2 Marisma Interna Reciente del Guadalquivir y de la Rocina-Guadiamar.

Estos ecosistemas se asocian a los ámbitos de “marisma baja” de dinámica aluvial del Parque, caracterizándose por la presencia de saladares de almajo (*Arthronemum macrostachyum*), juncales (*Juncus subulatus*) y bayuncales (*Scirpus litorales*), así como de pastizales anuales, vegetación helofítica y castañuelas (*Scirpus maritimus*), éstas últimas vinculadas especialmente a la marisma de la Rocina. Son propias de este ecosistema las formaciones palustres de carácter epigénico (lucios) que, como en el caso anterior responden a un funcionamiento estacional.

El cambio previsto en las condiciones climáticas afectará de manera notable en el régimen de inundación de estas marismas, reduciéndose el hidroperiodo por el aumento creciente de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones. Esta situación se agravará conforme avance el siglo, como ya hemos visto de forma general, con un incremento de la salinidad y de los contaminantes de origen agrícola. A ello hay que añadir que, por su topografía deprimida en relación al contorno de la marisma alta, estos ecosistemas fortalecerán su condición de áreas preferentes de desagües de las grandes riadas, lo que, bajo un escenario de marisma libre de muros, provocaría, en primera estancia, un reforzamiento del típico encajamiento de los ejes del Guadiamar y la Rocina, con respecto a la alta superficie de la marisma interna antigua, pero la consolidación del alto nivel marino prevista para final de siglo tendrá como consecuencia, según se ha indicado, un incremento de las tasas de sedimentación, preferentemente en los tramos internos

de los mencionados ejes y sus principales caños asociados, así como un incremento de la influencia mareal en los tramos terminales de los mismos.

*Un ejemplo de especie vegetal de las que podrían verse más afectadas es la castañuela (*Scirpus maritimus*), la cual se encuentran en aquellas zonas donde la circulación, la permanencia y el aporte de agua dulce continental es mayor, apareciendo en las llanuras inundadas de la parte Norte del Parque, en zonas cercanas a la Vera y alrededor de algunos lucios. Este tipo de vegetación herbácea perenne puede ver restringida su área de distribución debido a la mengua de agua dulce en la marisma y la desecación persistente de algunas áreas inundables.*

5.3.2.3 Marisma Externa mareal

Se corresponde con la “marisma baja” de Doñana sometida a la fluctuación diaria de las mareas, caracterizándose por la presencia de saladares de sapina (*Sarcocornia perennis*; *Sarcocornia fruticosa*) con barrón (*Spartina densiflora*) y pastizales perennes (*Cynodon dactylon*; *Paspalum vaginatum*) que pueden acompañarse de carrizal (*Phragmites australis*). Este ecosistema puede, en su conjunto, ser considerado como un humedal costero epigénico mareal.

El efecto del CCI que más incidirá sobre este tipo de ecosistemas será la subida del nivel del mar que acompañará al recalentamiento climático. Bajo un escenario de desaparición de la denominada “montaña del río” y su prolongación hacia el Entremuros del Guadiamar, se entiende que este ecosistema quedaría directamente gobernado por los procesos mareales, que se verán reforzados ejerciendo libremente su influencia a lo largo de toda la red de caños que hoy se gestionan mediante sistemas de compuertas. Dicha elevación de la rasante marina, establecida en torno a 0,5 m para el litoral de Doñana, se traducirá en una expansión del área afectada por la inundación diaria de las mareas, a costa de los sectores más deprimidos del ecosistema de marisma aluvial. Esto significa que, a lo largo del próximo siglo, asistiremos a un desarrollo y un incremento de la importancia relativa de este ecosistema en el conjunto del Parque. Las nuevas condiciones de salinidad e hidropereodo serán los factores que controlen el desplazamiento de las especies halofíticas hacia el interior de la marisma aluvial.

Un ejemplo de formaciones vegetales que podría verse favorecida por las condiciones de alto nivel marino sería el saladar de sapina con barrón. Estas especies están muy bien adaptadas a las condiciones estresantes que introduce la alta salinidad de la marisma mareal, adaptándose cada una de ellas a unas condiciones determinadas de inundación y contenido en sal, por lo que se verán favorecidas ante las circunstancias derivadas de elevación del nivel del mar.

5.3.2.4 Vera y Retuerta

Son ecosistemas caracterizados por ser unas unidades naturales de tránsito entre ecosistemas de rasgos contrastados (*ecotono*), en este caso entre el mundo de las arenas de los *Mantos Eólicos Litorales* y las *Playas Antiguas* y el de las arcillas de las Marismas.

En la Vera aparecen humedales hipogénicos temporales estacionales asociados a pastizales perennes y juncuales; en la Retuerta, en cambio, las formaciones palustres son de carácter hipogénico permanente, presentando una vegetación asociada de pastizales perennes y juncuales, así

como carrizales (*Phragmites australis*). Al tratarse de zonas de contacto entre los materiales arcillosos impermeables y las formaciones arenosas permeables, tanto la Vera como la Retuerta se constituyen como una “línea” de rezume de alta productividad y un importante refugio para la fauna, ya que mantienen un cierto nivel hídrico durante la época estival, mientras que el resto de las marismas y de los ecosistemas palustres permanecen secos.

Bajo los efectos del CCI, estas condiciones de humedad permanente pueden verse modificadas en las próximas décadas por causa de la disminución de las precipitaciones y el aumento de la evapotranspiración, así como por el abatimiento de los niveles freáticos. Ello supondría un importante cambio del cuadro ecológico de estos ecosistemas así como de las formaciones palustres que incorpora.

FAUNA ACUÁTICA

Como ya hemos visto, los efectos del cambio climático inducido sobre las zonas húmedas de Doñana son diversos y causarán una reducción del número de hábitats de agua dulce, un descenso de la humedad edáfica, un deterioro de la calidad del agua y, en la mayoría de los casos, un aumento de la salinidad.



Tritón Ibérico (*Triturus boscai*)

Estos cambios pueden provocar el aumento de la mortalidad o el fracaso reproductor de muchas especies de fauna acuática (invertebrados, peces, anfibios y reptiles), que será especialmente grave en aquellos casos con ciclo de vida corto o baja capacidad de dispersión.

Además, otras perturbaciones ambientales (extracción de agua, invasión de exóticas, eutrofización,...) que ya causan un impacto claro sobre la fauna se potenciarán a causa del cambio climático, intensificándose principalmente el daño por contaminación y la exposición a la radiación ultravioleta (RUV), pudiéndose dar procesos sinérgicos entre los mismos.

(Basado en Marco, 2001)

5.3.3 Ecosistemas de Mantos Eólicos Litorales

5.3.3.1 *Bajo Manto Eólico de Dunas Fitoestables (BME)*

Este ecosistema se caracteriza por exhibir una desarrollada red de cañadas alimentadas principalmente de aguas freáticas procedentes de los afloramientos del freático que sustentan los humedales alojados en el contacto entre este manto y el *Alto Manto Eólico Seco* (la denominada *Línea de la Mediana* o Ribatehilos). En él alternan las típicas formaciones de *monte blanco*

(jaguarzal de *Halimium halimifolium*) y jaral de *Cistus sp.*) y de *monte negro* (brezal xerófilo de *Erica scoparia* y *Calluna vulgaris* y aulagar de *Ulex australis*) constituyendo un mosaico en el que se también se intercalan brezales higrófilos (“manchas” que también forman parte del *monte negro* de *Erica ciliaris* con *Ulex minor*) y pastizales perennes y juncuales, así como fresnedas (*Fraxinus angustifolia*) en las cañadas y alamedas (*Populus alba*) en las algaidas. Humedales hipogénicos temporales estacionales ocupando las depresiones dunares completan el paisaje de esta unidad eólica.

Un clima más árido, una reducción de la humedad edáfica y un descenso del nivel freático condicionarán gravemente el cuadro de características ecológica de esta unidad natural, las cuales puede resumirse en las que siguen:

- Expansión del *monte blanco* ocupando zonas ocupadas actualmente por el *monte negro*, el cual quedará restringido a zonas donde se mantenga humedad suficiente (posiblemente el fondo de muchas de las lagunas cuya lámina de agua libre es ya hoy de escasas proporciones).
- Acantonamiento del brezal higrófilo en los ámbitos más próximos a las formaciones palustres de mayor permanencia de aguas estacionales y márgenes de cañadas, pudiendo llegar a desaparecer en amplias zonas.
- Los sistemas palustres hipogénicos temporales también se verán afectados por la reducción de la recarga del freático y la consecuente bajada del nivel freático, lo cual provocará una disminución en el periodo de inundación de las lagunas, que podrán desecarse durante largos periodos de tiempo o incluso desaparecer, si el nivel baja mucho durante las sequías y no llega a recuperarse en las épocas de lluvias.
- Este mismo problema aparecerán en relación con las cañadas y los denominados “Caños de la Vera”. Habida cuenta de que al abatimiento de los niveles piezométricos habrá que unir la disminución de las precipitaciones anuales, que podrá provocar la desecación anticipada en el ciclo anual y durante más tiempo de dichos colectores, afectando también al bosque en galería existente en algunas zonas.
- Por otra parte, la concentración de las precipitaciones provocará una mayor capacidad de arrastre de sedimentos de estos desagües hasta su desembocadura en la marisma –ya sea de manera directa, como en el caso de las cañadas que discurren al sur del puente de la Canaliega, o indirecta a través del Arroyo de la Rocina–. Las cañadas de Soto Chico y Soto Grande ya han dado muestras suficientes de lo que puede ser este fenómeno en un futuro (MIMAM, 2003).

5.3.3.2 Alto Manto Eólico Húmedo de Dunas Fitoestables (AMEh)

Las mencionadas formaciones de *monte blanco* y *monte negro* también son las características de este otro ecosistema eólico, aunque con una distinta distribución y representación. La consideración de “húmedo” dada a este sistema natural viene dada por el hecho sobre él que se desarrolla, preferentemente, el sistema palustre de El Abalarío-Doñana (Borja, F., 1987; 1992; Borja y Díaz del Olmo, 1996; Coletto, 2003; Borja, C., en preparación). En el *AMEh* predomina la formación de *monte negro* (brezal xerófilo y aulagar, asociándoles un conjunto de varios cientos de formaciones palustres tanto hipogénicas como alimentadas por aguas subsuperficiales.

Ante las nuevas condiciones climáticas esperadas en esta zona:

- Las comunidades vegetales se verán obligadas a cambiar su distribución actual atendiendo, principalmente, a las condiciones previstas de menores precipitaciones, menor humedad

edáfica, mayores niveles de evapotranspiración y abatimiento del freático, lo que repercutirá en un mayor desarrollo del *monte blanco* en detrimento del *monte negro*. Bajo estas condiciones, a lo largo del presente siglo, el paisaje del *AMEh* tenderá a presentar un aspecto semejante al que hoy se desarrolla sobre el *AMEs* (*vid. infra*), donde el matorral de *monte blanco* es la formación vegetal más extendida.

- Por estas mismas razones las formaciones palustres sufrirán un deterioro importante, peligrando la permanencia de muchas de ellas, las cuales tenderán a conformar ámbitos de acantonamiento del brezal higrófilo o, si se acentúan las condiciones de sequedad, de brezal xerófilo. Lagunas permanentes/semipermanentes como la laguna de Santa Olalla podrían llegar a ser estacionales, y es muy probable que las estacionales reduzcan su periodo de inundación. Esta situación también afectará a los complejos perilagunar de pastizales perennes y juncales, que verán limitada su presencia poco a poco.
- Una reducción del grado de humedad general de este ecosistema puede llevar a condiciones favorables para la reactivación dunar, siendo posible que localmente se pierda la fitoestabilidad que hoy lo caracteriza entrando en una fase de predominio de la morfogénesis eólica.

EL LINCE IBÉRICO (FIG. X)

El Lince Ibérico (*Lynx pardinus*) es una especie endémica de la Península Ibérica, es decir, que en nuestro Planeta sólo se encuentra en algunos lugares de España y Portugal. Actualmente, el número de individuos de esta especie no sobrepasa los 200 ejemplares, sufriendo una grave reducción desde hace décadas.



La destrucción y fragmentación de su hábitat, junto a la disminución de su presa principal, el conejo común (*Oryctolagus cuniculus*) que representa el 80 % de su dieta, han sido los principales factores de su amenaza. La disminución que ha sufrido este roedor a causa de las epidemias de mixomatosis y de los procesos hemorrágicos víricos, así como por la pérdida de su hábitat, reemplazado en gran parte por cultivos, ha incrementado la vulnerabilidad del felino ibérico.

El cambio climático puede ser una amenaza potencial para el conejo debido a la modificación que pueden sufrir los ecosistemas de arenales (cotos) ante la aridez creciente que se proyecta para las próximas décadas. Las fuertes sequías y la competencia con el ganado, pueden reducir los recursos alimenticios, desplazando a esta especie tan importante para la supervivencia de depredadores amenazados como el lince ibérico y el águila imperial (*Aquila adalberti*).

Por otra parte, la pérdida de ambientes como setos, bosques de ribera, manchas de matorral, etc., hacen más difícil la dispersión del lince a la hora de establecer nuevas poblaciones o para aparearse, situación que puede incrementar los problemas derivados de la endogamia.

(Basado en: Jesús Cobo Anula, 2003)

5.3.3.3 *Alto Manto Eólico Seco de Dunas Fitoestables (AMEs).*

Así como en el *AMEh* abundaban las formaciones de brezal, en el *AMEs* es el jaguarzal y el jaral (*monte blanco*), más adaptados a unas condiciones de escasa humedad edáfica, la formación vegetal por excelencia, aunque también abunda el sabinar (*Juniperus phoenicea* subesp. *turbinata*) que conforma las típicas *Naves* de las dunas más altas y secas del *MEL* de El Abalarío-Doñana. Algunas manchas de vegetación higrófila acantonada en las más profundas depresiones dunares, así como formaciones palustres de funcionamiento residual, completan el mosaico de esta unidad natural.

Los principales efectos del CCI sobre esta unidad se centrarán en:

- el afianzamiento de la vegetación xerófila, que incluso podrá ver reducida su densidad.
- el deterioro o desaparición de las escasas formaciones palustres o enclaves hidrófilos.
- la reactivación de la morfogénesis eólica y los procesos de deflación y conformación de dunas.
- el incremento de los procesos de arroyada asociados al flanco sur de la unidad, de los que hoy pueden reconocerse sus huellas y que, bajo unas precipitaciones concentradas, podrían acentuarse.

5.3.3.4 *Manto Eólico de Dunas Semiestables.*

Este manto eólico se caracteriza por la presencia de formaciones mixtas del tipo pinar (*Pinus pinea*)/sabinar (*Juniperus phoenicea* subesp. *turbinata*), a veces con enebros (*J. oxycedrus* subesp. *macrocarpa*) y *monte negro*, asociadas a duna parabólicas, así como otras de pinar con juncales y *monte blanco* vinculadas a dunas transversales.

Los principales efectos del CCI sobre esta unidad vendrán de la mano de la caída de los niveles freáticos y de la pérdida de humedad del suelo, lo cual provocará un importante incremento del estrés hídrico sobre las comunidades vegetales (que irá en aumento a lo largo del presente siglo). Ello acarreará problemas para mantener su masa arbórea, y como consecuencia podríamos asistir a una reactivación de la morfogénesis eólica.

5.3.3.5 *Manto Eólico de Dunas Activas*

Es en este ecosistema, lógicamente, donde el papel de la componente vegetal tiene un menor peso específico y está más controlada por la movilidad y el modelado de grandes dunas transversales, habida cuenta de su consideración de sistema dunar activo, frente a la semiestabilidad o la fitoestabilidad de los *Mantos* ya descritos. Las formaciones de barrón (*Hammophila arearia*) culmina las crestas de las dunas costeras, mientras las depresiones interdunares secas pueden presentar pinar, monte blanco e incluso juncales (*corral seco*), y las húmedas, pinar, *monte negro* y juncal (*corral húmedo*), e incluso alguna formación palustre hipogénica temporal estacional.

Frente a los efectos del CCI, las escasas formaciones palustres temporales de carácter hipogénico pueden verse favorecidas al final del presente siglo como consecuencia del aumento del nivel de base que acompañará a la subida del nivel del mar. Dependiendo de lo que pueda avanzar la cuña salina cabría contemplar que estas lagunas incrementaran el nivel de sales de sus aguas, lo que sería extensible al conjunto de aguas subsuperficiales.

Aparte de por la movilidad del sustrato, la vegetación de estos ecosistemas está condicionada por la presencia de materia orgánica, el estrés hídrico y salinidad de la arena. Estos factores pueden verse alterados con el CCI, y así, el aumento del nivel del mar puede incrementar el alcance del spray marino, y el aumento de días secos y de la temperatura media diaria el estrés hídrico.

Variaciones de la salinidad ambiental y de la arena así como unas mayores dificultades de abastecimiento de agua por parte de la vegetación terminará por desplazar de este sector a especies como las que concurren en la formación del *monte negro*.

5.3.4 Ecosistemas de Playas

5.3.4.1 Playas Antiguas

Estos ecosistemas están definidos sobre la base de existencia de cuerpos morfosedimentarios del tipo playas adosadas (morfología a base de una sucesión de crestas y hondonadas: *Navazos*) que hoy están desconectadas de la línea de costa (Flecha Litoral). Las formaciones vegetales principales son las del pinar/sabinar, el monte blanco, el pastizal/juncal, el lentiscar, etc., siendo frecuente la presencia de formaciones palustres hipogénicas temporales estacionales e interanuales, así como humedales epigénicos.

Ante el avance del CCI, las formaciones palustres hipogénicas temporales interanuales con junco merino y las hipogénicas temporales estacionales, probablemente se vean desfavorecidas en el primer periodo considerado por los escenarios climáticos más al uso (2030-2060), a causa de la disminución de las recargas subterráneas y la consecuente bajada del nivel freático. Pero, como en el caso de los humedales de los *corrales húmedos*, en los últimos treinta años del presente siglo, pueden verse favorecidas si el aumento del nivel del mar provoca la elevación de los niveles freáticos aunque, si esto se acompaña de un desplazamiento de la cuña salina, la composición de estas aguas podría cambiar aumentando la concentración en sales.

Las formaciones palustres epigénicas temporales estacionales, por su parte, se verán desfavorecidas ante la disminución de las precipitaciones y el aumento en la evaporación, ya que estas circunstancias se traducirán en una disminución del periodo de inundación y/o la desaparición de la presencia de agua durante largos periodos de tiempo.

5.3.4.2 Playas actuales

Dentro de las playas actuales pueden distinguirse los ecosistemas menores de la *playa* y la *duna costera*. El aumento del nivel del mar esperado, unos 0,5 m para finales de siglo, causará un mayor impacto sobre estos ecosistemas cuanto mayor sea su nivel de degradación. Hoy en día ya pueden señalarse, para las playas del Parque Nacional de Doñana, varios tramos del cordón litoral con playas, e incluso, con duna costera bastante erosionadas²¹. En general en toda la línea de costa y en particular en estos puntos degradados desde el punto de vista morfo-sedimentario, la elevación de la rasante marina traerá consigo una erosión acelerada de estas formaciones arenosas, así como un aumento progresivo del impacto de los temporales, momentos en los que el agua del mar inundará diversos sectores de la primera línea de *corrales*.

²¹ El tramo costero del PND, más cercano al municipio de Matalascañas, entre el rancho Mona y el rancho Murillo; la playa de Castilla, a la altura de la Nave del Inglesillo, donde no existe duna transversal costera de origen eólico; la playa de Malandar cerca de la desembocadura del río Guadalquivir.

6 Conclusiones generales: El impacto del CCI sobre Doñana

Doñana ha experimentado en las últimas décadas una sensible caída de la disponibilidad de agua, tanto en lo que concierne a su ciclo superficial como al subterráneo. Ahora bien, es necesario indicar asimismo que, con el conocimiento y los datos de los que hoy se disponen, se hace extremadamente difícil discernir que parte del proceso corresponde a la incidencia del cambio climático inducido y cuánto a los cambios registrados por los sistemas de uso y aprovechamiento de los recursos por parte de los habitantes del área (deforestación y sustitución de ruedos y cultivos tradicionales en cuencas vertientes, manejo hidráulico de cauces y caudales fluviales así como de amplios sectores de marismas aluviales, incremento desmedido de captaciones subterráneas en determinadas zonas, etc.).

Desde este punto de vista, una valoración a detalle del impacto de las variaciones recientes y futuras del clima sobre el área de Doñana ha de contemplar, necesariamente, el carácter fuertemente antropizado de este ámbito. El análisis de lo que puede ocurrir, por ejemplo, con las marismas protegidas del Guadalquivir ante los efectos combinados de una disminución-concentración de las precipitaciones y la escorrentía, un aumento de la evapotranspiración y una subida del nivel del mar, queda incompleto si no se tienen en cuenta el estado de degradación de los cauces, las cuencas vertientes y el acuífero, las infraestructuras de control hidráulico existentes actualmente en este emblemático espacio de Doñana y qué se tiene previsto hacer con ellas en un corto-medio plazo, o, en otro orden de cosas, cómo pueden responder los diferentes sectores productivos, o la propia ciudadanía, ante las tensiones territoriales que puede desatar la carencia o accesibilidad a determinados bienes y servicios naturales implicados en el proceso productivo, etc.

Si como parece, por seguir con el ejemplo de la marisma, se puede pensar que este ámbito puede alcanzar en pocos años unas importantes cotas de renaturalización gracias a los proyectos de restauración en marcha en la actualidad (Doñana 2005, Corredor Verde del Guadiamar,...), nos encontraremos con un medio natural que, habiendo recuperado parte de su pulso natural, hasta ahora bastante mediatizado, tendrá que enfrentarse a unos cambios muy rápidos de los factores que controlan su caracterización actual y su dinámica, lo que supondrá evidentes cambios en su cuadro ecológico.

Cualquiera de las cuestiones planteadas anteriormente de forma general y en particular para los ecosistemas de marisma es igualmente aplicable al caso de los ecosistemas costeros o eólicos del área de Doñana, debiendo sumarse a este panorama una serie de procesos de retroalimentación que no harán sino abundar en la rapidez y contundencia de los cambios.

Desde el punto de vista del análisis de los parámetros climáticos, cabe concluir que las previsiones con las que podemos jugar a día de hoy para Doñana nos muestra un escenario de moderada a alta tendencia a la **aridificación** para el próximo siglo, comparación con los valores de control correspondiente al periodo 1961-1990. Esto se plasma como se indicó con antelación en:

- un aumento de las temperaturas medias diarias entre 2 y 4 °C, y en verano de algún grado más.
- un incremento entre 2 y 5 semanas los días de verano, los días cálidos, las noches tropicales.
- una disminución entre 1 y 2 semanas las noches con heladas.
- una reducción de las precipitaciones (para una subida de 2°C de temperatura) que puede llegar hasta -110 mm/a.
- un incremento de la velocidad del viento en torno a un 5%.

Respecto a la subida del **nivel del mar** correlativo al recalentamiento climático global, para finales de siglo en el área de Doñana, se estima un aumento relativo de cotas en torno a 0,5 m.

En lo que se refiere a la caracterización y funcionamiento del sistema natural de Doñana, en particular a lo que hace referencia a la reserva nacional, cabe concluir apuntando que, durante la

presente centuria, se asistirá a la consolidación de un proceso general de **desertificación**. Este escenario se materializará principalmente en:

- unas importantes caídas de los **aportes superficiales** entre un 4,5 y un 11 %.
- una pérdida de los valores netos de la **escorrentía** entre un 10 y 50 % (aunque ésta puede ver aumentar sus valores relativos localmente a consecuencia del carácter errático que adoptarán las precipitaciones y por una importante pérdida de cubierta vegetal y de suelos que inhibirán los procesos de infiltración y recarga del acuífero.
- una disminución de la **humedad del suelo** y un aumento del **estrés hídrico**, que perjudicará seriamente a formaciones vegetales ecosistemas acuáticos, hasta poner en peligro el mantenimiento de muchos de ellos.
- una **sobreexplotación** y un incremento de la **contaminación** de la unidad hidrogeológica, así como un alto riesgo de **salinización** de su banda costera por efecto de la subida del nivel del mar.
- un incremento de la efectividad de los **procesos erosivos** vinculados a la morfogénesis aluvial (en cuencas y marismas), eólica (en los sectores más elevados de los mantos eólicos fitoestables y en los mantos de dunas semiestables y activas) y costera (en el cordón litoral, en relación con las nuevas posiciones del nivel del mar).
- un deterioro generalizado de los **ecosistemas** cuya estructura y funcionamiento se verán afectados directamente por la aridez climática y la disminución de la humedad edáfica; así como un afianzamiento de aquellos otros ecosistemas que se ven beneficiados de una reducción de los tiempos de inundación (marisma alta) o como finalmente de los que dependen directamente de las condiciones mareales (marisma mareal). Consecuentemente con esta situación, especies emblemáticas de Doñana como el lince ibérico y el águila imperial, que dependen directamente de presas que pueden ver disminuido su hábitat potencial, experimentarán una disminución en sus posibilidades de supervivencia.

7 Propuestas de Adaptación/Minimización ante el CCI para Doñana

El presente apartado se ha concebido mediante la articulación de un cuadro de doble entrada en el que se distinguen, por una parte, tres *Campos Estratégicos* o ámbitos preferentes sobre los que concentrar los esfuerzos de manera prioritaria; y, por otra, tres *Líneas de Actuación* básicas sobre las que se estructura la propuesta. Los Campos Estratégicos identificados quedan referidos:

- al Mantenimiento de la Diversidad Ecológica
- al Desarrollo de Opciones de Diversificación Socio-Económica
- a la Implementación de Modelos de Gestión Adaptable

Los dos primeros tienen una expresión temática, la cual se identificada mediante el establecimiento de una *Directriz* particularizada para cada una de las mencionadas *Líneas de Actuación*. Por el contrario, el último de estos *campos* ha sido considerado como de carácter transversal, por lo que es a este nivel al que se establece la directriz correspondiente (Figura 18).

A su vez, para cada una de las Líneas de Actuación definidas se han distinguido dos *Áreas de Acción* concretas, las cuales tienen la misión de acotar, atendiendo a la especificidad propia del área de Doñana, los aspectos generales que incluyen cada una de aquellas. Las Líneas de Actuación y las Áreas de Acción se han identificado como sigue:

Línea de Actuación encaminada a la adaptación/mitigación ante los efectos del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales

- Área de acción en la Gestión Integral del Medio Natural
- Área de acción en la Restauración Ecológica

Línea de Actuación encaminada a la adaptación/mitigación ante los efectos del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos

- Área de acción en el Uso Sostenible de los Recurso Hídricos
- Área de acción en la Adecuación de los Sectores Productivos

Línea de Actuación encaminada a la adaptación/mitigación ante los efectos del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales

- Área de acción en la Educación Ambiental para el *cambio*
- Área de acción en la Concienciación y Participación Social

En cada una de estas *Áreas*, en el caso de los dos primeros Campos Estratégicos, y en cada una de las *Línea*, para el tercero de ellos, se proponen los *Tipos de Acciones* a llevar a cabo para la adaptación/mitigación de los efectos pronosticados para el sistema natural de Doñana según los diferentes escenarios del cambio climático analizados en la primera parte de este documento.

Líneas de actuación y áreas de acción						
<i>Adaptación sobre los sistemas naturales</i> (I)		<i>Adaptación sobre los sistemas socioeconómicos</i> (II)		<i>Adaptación sobre los sistemas culturales</i> (III)		
Gestión integral del medio natural	Restauración ecológica	Uso sostenible de los recursos hídricos	Adecuación de los sectores productivos	Educación ambiental para el cambio	Concienciación y participación social	
Campos estratégicos	<i>Mantenimiento de la diversidad ecológica</i> (5.2.1.)	Gestión integral	Restauración Ecológica	Uso sostenible de los recursos hídricos	Educar para el cambio	
	<i>Desarrollo de opciones de diversificación socioeconómica</i> (5.2.2.)	Integridad Ecológica	Biodiversidad	Adecuación de los sectores productivos	Participación deliberativa	
	<i>Modelos de Gestión Adaptable</i> (5.2.3.)	Actuaciones políticas y técnicas basadas en el conocimiento científico y la cooperación institucional			Capacitación comprometida	
		Sistemas de indicadores específicos de análisis y seguimiento del CCI				

Figura 18: Estructura de la propuesta de adaptación/minimización de los efectos del cambio climático en el área de Doñana, con la identificación de temas claves según campos estratégicos y líneas de actuación (el desarrollo pormenorizado de las directrices generales de cada caso quedan sintetizadas en el anexo III)

7.1 Campo Estratégico para el mantenimiento de la diversidad ecológica

7.1.1 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales:

DIRECTRIZ: promover de una gestión integral del medio natural del área de Doñana tendente a conservar su integridad ecológica y su biodiversidad en el área de Doñana, así como diseñar un nuevo paradigma de la restauración ecológica encaminada no sólo a rescatar los ecosistemas de los estados no deseados a los que hayan podido llegar por impactos del pasado, sino a prever su inserción en el marco de las futuras condiciones derivadas del CCI.

a. Área de acción en la Gestión Integral del Medio Natural. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- el desarrollo de la gestión integral de las cuencas superficiales, incluidas las marismas aluviales, y el sistema acuífero (*hidrosistema de referencia* de Doñana).
- el desarrollo de la gestión integral del medio litoral incluyendo tanto el dominio marino como el continental, y teniendo como referente la unidad ecológica de gestión del Golfo de Cádiz identificada por la actual propuesta del Plan Director de la RENPA (CMA).
- promover un modelo de gestión de los recursos tendente al mantenimiento de la integridad y la resiliencia de los ecosistemas de Doñana, en atención a una explotación sostenible de los bienes y servicios que éstos proporcionarán bajo las nuevas condiciones del cambio climático.
- preservar la conectividad mediante la gestión integral de vías acuáticas y *redes palustres* a fin de garantizar el acceso a rutas migratorias y refugios térmicos de las especies vinculadas a las reservas de Doñana.

b. Área de acción en la Restauración Ecológica. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- desarrollar auténticos programas de restauración ecológica, es decir, de aquellas iniciativas que primen, desde el punto de vista de conseguir el mayor grado de sostenibilidad posible, la restitución de los procesos naturales y la funcionalidad de los ecosistemas, frente a la restauración ambiental entendida como mera reposición de los diferentes componentes del sistema natural.
- incorporar, en los programas de restauración, los principios de la gestión ecológica encaminados a dotar a los ecosistemas del mayor grado posible de resiliencia, a fin de reducir su vulnerabilidad y aumentar su capacidad de autoorganización frente a las variaciones climáticas a medio y largo plazo.

7.1.2 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos.

DIRECTRIZ: mantenimiento y fortalecimiento de la salud ecológica de los ecosistemas a fin de salvaguardar, frente a los efectos del cambio climático inducido, la capacidad que poseen los sistemas naturales con integridad ecológica de suministrar, de manera sostenible (esto es, sin bloquearse ni colapsarse), flujos sostenibles de bienes y servicios a la sociedad.

a. Área de acción en el Uso Sostenible de los Recursos Hídricos. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promover prácticas respetuosas con los condicionantes del ciclo hidrológico integral, en especial de aquellas que incluyan entre sus previsiones los futuros cambio que éste experimentará con las variaciones del clima.
- fomentar iniciativas orientadas a compatibilizar el uso del agua con las necesidades hídricas de los ecosistemas acuáticos ante los cambios que éstos experimentarán, tanto cuantitativamente como desde el punto de vista de la calidad del recurso, ante las previsiones futuras.

b. Área de acción en la Adecuación de los Sectores Productivos. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- fomentar propuestas que integren en su programación el control de los riesgos naturales derivados del cambio climático (control efluentes ante épocas de sequía, planes de emergencia ante eventos catastróficos, etc.)
- desarrollar medidas de control del proceso de agotamiento de suelos y abandono de tierras que acompañará, en las próximas décadas, al incremento de la aridez, así como a la implementación de propuestas que tengan como objetivo la regeneración de áreas degradadas.

7.1.3 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales

DIRECTRIZ: elaborar y difundir nuevos conceptos y modelos de funcionamiento de la naturaleza del área de Doñana que primen la condición cambiante y evolutiva de la misma, frente a concepciones estáticas que entienden la restauración y la conservación como la recuperación y el mantenimiento de situaciones “ideales”, por regla general más cercana a una “foto fija” del sistema natural que al ente dinámico que es, máxime cuando esta dinámica se verá acelerada bajo la incidencia futura del cambio climático inducido.

a. Área de acción en la Educación Ambiental para el *cambio*. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promover todo tipo de programas específicos de educación ambiental, tanto formales como no formales, así como foros de debate y campañas en medios diversos, destinados a los diferentes actores sociales vinculados al área de Doñana, en los que se defienda una imagen positiva del cambio, así como la necesidad de estar preparados para el mismo, favoreciendo la internalización social y la aceptación del mismo.
- favorecer el desarrollo de ideas que abonen los enfoques sistémicos e integrados de la relación Hombre-naturaleza, a fin de dotar a los ciudadanos de argumentos locales y globales con los que enfrentar una realidad cambiante, no sólo desde el punto de vista ecológico sino asimismo social y económico, como la que caracteriza al área de Doñana.
- la capacitación del conjunto de expertos implicados en la gestión ambiental (gestores, investigadores, educadores, técnicos,...) en materia de cambio climático inducido así como en lo que se refiere a las expectativas y afecciones del mismo sobre el área de Doñana.
- establecer mecanismos fluidos de coordinación e intercambio de información de los distintos estamentos responsables de cualquiera de las diferentes facetas de la gestión ambiental del área de Doñana, así como a la asignación de nuevos cometidos entre las diferentes tareas que llevan a cabo cada uno de ellos, al objeto de detectar de forma precoz los síntomas de cambio en los parámetros climáticos.

b. Área de acción en la Concienciación y Participación Social. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promover un cambio en las aptitudes ciudadanas definido por la necesidad de reconocer y abordar solidariamente los nuevos deberes que ha de asumir la sociedad ante el cambio climático inducido, generando un sentimiento creciente de la necesidad de actuar y de tomar medidas para la mitigación de sus efectos en el área de Doñana.
- auspiciar medidas que involucren a la población incitándola a la participación en las estrategias de adaptación a los efectos del cambio climático, a fin de conseguir una actitud favorable a la presencia activa de la ciudadanía en los procesos deliberativos y en la toma de decisiones en su marco local.

7.2 Campo Estratégico para desarrollo de opciones de diversificación socio-económica

7.2.1 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales

DIRECTRIZ: promocionar, frente a las nuevas presiones territoriales, una utilización racional de los recursos del área de Doñana acorde con las nuevas condiciones de funcionamiento del sistema natural derivadas del cambio climático inducido, así como de crear un estilo de gestión lo suficientemente flexible como para acomodarse a los nuevos esquemas del cambio permanente.

a. Área de acción en la Gestión Integral del Medio natural. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promocionar iniciativas tendentes a la acomodación de las prácticas socio-económicas que se llevan a cabo en el área de Doñana a la dinámica y el funcionamiento sistémico del medio natural, así como a su carácter cambiante en el tiempo.
- incentivar actuaciones respetuosas con las relaciones de interdependencia que ligan al conjunto de bienes y servicios naturales del área de Doñana ante su eventual explotación por algún tipo de actividad económica, así como con los nuevos vínculos que se establecerán bajo el escenario del cambio climático inducido.

b. Área de acción en la Restauración Ecológica. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- priorizar la recuperación del dominio público hidráulico de las cuencas vertientes del entorno de Doñana, incluido la restauración de su cubierta vegetal original, a fin de liberar al máximo el sistema fluvial de las tensiones territoriales que hoy limitan su capacidad de funcionamiento frente a los futuros impactos del cambio climático inducido.
- incentivar iniciativas que, desde la fase de proyecto hasta la de cierre de la actividad o un eventual abandono de la misma, contemplen un plan de estabilización del funcionamiento del medio natural, el cual incorpore previsiones concretas al respecto de la sinergia que pudiera devenir de la conjunción del impacto derivado de la propia actividad humana y el correspondiente a los efectos previstos del cambio climático inducido.

7.2.2 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos

DIRECTRIZ: dilucidar los posibles conflictos territoriales provocados por la tensión de los cambios derivados de las variaciones del clima sobre el sistema natural de Doñana, así como de orientar las oportunidades que brinda el cambio de cara a innovar acerca de nuevos usos, de manera alternativa a la tendencia imperante basadas en el consumo.

a. Área de acción en el Uso Sostenible de los Recursos Hídricos. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promocionar políticas, normativas e incentivos tendentes a potenciar usos y actividades económicas relacionadas con el área de Doñana que demanden bajos niveles de consumo de agua, o que movilicen recursos no convencionales que redunde en su ahorro neto.
- promover iniciativas de modernización del transporte y reciclaje del agua que aumente la eficiencia de los suministros y que aminore la incertidumbre acerca de la disponibilidad del recurso bajo el nuevo escenario de cambio climático inducido previsto para Doñana.

b. Área de acción en la Adecuación de los Sectores Productivos. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- desarrollar el acomodo, ante el nuevo escenario del cambio climático inducido, de los actuales modos de producción a nuevas fórmulas de compromiso tendentes a la disminución del consumo hídrico, al uso legal del agua y a su reciclaje. Compromiso que debe hacerse extensivo a la utilización de conjunto de bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas del área de Doñana a los procesos productivos, así como al tratamiento de los residuos derivados del proceso económico.
- invertir en la renovación de los complejos tecnológicos que inciden de manera negativa en una estructura y una dinámica del medio natural de Doñana que se verán, en las próximas décadas, sometidas a la tensión que suponen un incremento de la aridez y una exacerbación de los procesos de desertificación derivados de los efectos del cambio climático inducido.

7.2.3 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales.

DIRECTRIZ: promover la capacitación de los profesionales del entorno de Doñana, incitándolos a adquirir el mayor grado posible de compromiso ante la necesidad de dar respuesta a los cambios derivados de unas nuevas condiciones climáticas, así como de articular foros y ámbitos de intercambios y cooperación de carácter multisectorial.

a. Área de acción en la Educación Ambiental para el *cambio*. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- identificar y priorizar la instrucción de aquellos colectivos cuyas actuaciones o desenvolvimiento en su actividad habitual pueda intensificar los efectos negativos del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales de Doñana.
- establecer un modelo de aprendizaje social capaz de establecer las bases de una nueva sociedad comprometida con el ahorro energético y el consumo responsable, aspectos que podrían formar parte de una estrategia básica frente al cambio climático inducido en sentido global, pero a los que no se debe renunciar a escala local.

b. Área de acción en la Concienciación y Participación Social. WWF/Adena propone **acciones** encaminadas a:

- promover la conformación de grupos de interlocutores, con representación de los distintos sectores económicos, al objeto de desarrollar nuevas oportunidades a la hora de gestionar los conflictos que puedan derivarse de la merma de los recursos afectados de manera negativa por el cambio climático inducido.

7.3 Campo estratégico para implementación de modelos de gestión adaptable

DIRECTRIZ: Implementación, con referencia al área de Doñana, de propuestas de gestión encaminadas, por una parte, a reforzar las actuaciones políticas y técnicas basadas decididamente en el conocimiento científico y en la colaboración interinstitucional y, por otra, al establecimiento de sistemas de indicadores específicos aplicados de manera consecuyente tanto al estudio del cambio climático inducido como al seguimiento y la evaluación de todo tipo de programas e iniciativas desarrollados en este campo, a fin de permitir la mayor certidumbre y flexibilidad posibles en la toma de decisiones.

7.3.1 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas naturales.

WWF/Adena propone acciones encaminadas a:

- exigir un seguimiento sistemático así como la evaluación continua de resultados sobre la base de un sistema de indicadores ecológicos de todos aquellos programas y actuaciones que proporcionen información sobre los niveles de funcionalidad y vulnerabilidad de los ecosistemas de Doñana, con el objeto de restar la mayor incertidumbre al respecto del comportamiento futuro de los mismos ante el cambio climático.
- poner en marcha un *sistema de información* específico para el seguimiento del cambio climático inducido en el área de Doñana, en el que se incorpore toda la información de carácter científico-técnico generada al respecto así como su referencia territorial, que permita un control exhaustivo tanto espacial como temporal del proceso de cambio. Esta iniciativa debe encajarse en las estructuras de bases de datos generales ya implementadas por los organismos autonómicos como son el Subsistema de Información de Climatología Ambiental (CLIMA) y, lógicamente, en la propia Red de Información Ambiental de Andalucía de la C.M.A.
- promover programas científico-técnicos aplicados al análisis de las situaciones derivadas de los efectos del cambio climático inducido sobre los ecosistemas de Doñana, a través de la implementación bajo variables controladas de simulaciones calibradas como la puesta en marcha recientemente dentro del Proyecto Doñana 2005 (Modelo numérico de Hidrodinámica de las Marismas del Parque Nacional de Doñana y su entorno).

7.3.2 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas socio-económicos.

WWF/Adena propone acciones encaminadas a:

- fomentar programas de seguimiento y evaluación de los procesos territoriales a partir de la implementación de un sistema de indicadores socio-económicos, sobre los que poder determinar el grado de incidencia del cambio climático inducido sobre las expectativas de los diferentes sectores productivos, así como poder proyectar tendencias futuras y arbitrar

medidas para su mitigación y conciliación con el mantenimiento de la resiliencia de los ecosistemas de Doñana.

- desarrollar marcos adecuados para las relaciones institucionales entre los diferentes sectores de la administración (tanto a nivel local, como autonómico o nacional), así como entre los diferentes organismos e interlocutores empresariales y sindicales y, particularmente, entre todos ellos y la comunidad científica, a fin de hacer del trinomio investigación-gestión-participación una realidad social en su sentido más pleno. Para ello es necesario una investigación con un carácter decididamente aplicado a detección y previsión de los efectos del cambio climático inducido tanto sobre la naturaleza como sobre las actividades económicas, así como una gestión y una participación lo suficientemente comprometidas y flexibles como para asumir el inevitable grado de incertidumbre con el que, en el plano de la gestión medioambiental, es necesario convivir.
- estimular iniciativas orientadas a favorecer la incorporación de los aspectos científicos e instrumentales derivados del análisis del cambio climático inducido entre las materias objeto de la inversión en I-D de los diferentes estamentos y sectores económicos, al objeto de incrementar los niveles de adaptabilidad de los sistemas y procedimientos productivos.

7.3.3 Línea de actuación relativa a la adaptación/mitigación ante la incidencia del cambio climático inducido sobre los sistemas culturales.

WWF/Adena propone acciones encaminadas a:

- formalizar normativas y procedimientos reglados en el orden social que respalden fomenten la confianza en las redes asociativas y la cooperación como mecanismos de incremento de la adaptabilidad social y de anticipación frente a los efectos del cambio climático.
- desarrollar programas de evaluación de la efectividad de las iniciativas de educación ambiental y concienciación social basados en un sistema de indicadores socio-culturales, que permita detectar los logros alcanzados pero también, y fundamentalmente, las deficiencias en materia de adaptación social al cambio, lo que permitirá el diseño más eficaz de nuevas estrategias.

8 Bibliografía

- Ayala-Carcedo, F. J., (2002). "Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en España y viabilidad del plan hidrológico nacional 2000". En F. Ayala-Carcedo y J. Olcina" (eds). *Riesgos Naturales*, pp: 829-838. Ed: Ariel. Barcelona.
- Barral, M.A. (2004). *Estudio Geoarqueológico de la ciudad de Sevilla. Antropización y Reconstrucción Paleogeográfica durante el Holoceno reciente (≈ últimos 2.500 años)*. Tes. doc. ined. Universidad de Huelva. 720 pág.
- Bolin, B. (1991). "The intergovernmental panel on climate change". En J. Jäger & H.L. Ferguson (Eds.) *Climate Change: Science, impact and policy. Proceedings of the second world climate conference*. Pág. 19-21. CUP.
- Borja, F. (1992). "Cuaternario reciente, Holoceno y períodos históricos del SW de Andalucía: Paleogeografía de medios fluviales y fuvio-litorales de los últimos 30.000 años" *RAÑA* (Boletín Informativo de AEQUA y S.E.G.), 13:41-42.
- Borja, F, Barral, M.A., Borja, C., Morón, M.C. & Gómez, C. (1995). *Sistemas naturales playas-dunas-humedal. Evaluación a través de indicadores geomorfológicos y ecodinámicos. Aplicación a la gestión medioambiental de la costa de Huelva*. II Plan Propio de Investigación de la Universidad de Huelva (Proyectos de I+D en Medio Ambiente).
- Borja, F. & Díaz del Olmo, F. (1996) "Manto Eólico Litoral de El Abalarío (Huelva): Episodios morfogenéticos posteriores al 22.000 BP". *Dinámica y Evolución de Medios Cuaternarios*. pp: 375-390. A. Pérez et al. Eds. Santiago de Compostela.
- Borja, F.; Zazo, C.; Dabrio, C. J.; Díaz del Olmo, F.; Goy, J. L. & Lario, J. (1999). "Holocene aeolian phases and human settlements along the atlantic coast of southern Spain". *The Holocene* 9 (3):333-339.
- Borja, F. y Gómez, C. (1999). "Áreas de influencia aluvial en el sector noroeste de las marismas del Parque Nacional de Doñana (1956-1963). El Territorio y su Imagen. vol. I, pp: 37-45. *Actas del XVI Congreso de Geógrafos Españoles*. AGE y Universidad de Málaga.
- Borja, F. y Gómez-Ponce, C. (2001). "Aluvionamientos recientes en el sector NW de las Marismas del Parque Nacional de Doñana (1956-1997). Análisis de cuencas vertientes". *Actas 1ª Reunión Internacional de Expertos sobre la Regeneración Hídrica de Doñana*. págs.: 215-218. Ministerio de Medio Ambiente. Huelva, oct. 1999.
- Borja, F. y Gómez-Ponce, C. (2002). "Cambios recientes de usos del suelo y respuestas morfohidrográficas en cuencas menores y marismas del sector NW del Parque Nacional de Doñana". En Pérez González, A., Vegas, J. y Machado, M.J. (Eds.): *Aportaciones de la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*. SEG - IGME, Serie Geología nº 1. Págs. 31-36. Madrid, ISBN 847840-447-3.
- Borja, F., Román, J.M., Montes, C., Moreira, J.M. y Rodríguez, J. (2004). *Propuesta de Regionalización ecológica de Andalucía y unidades ecológicas de gestión en el marco del Plan Director de la RENPA*. Doc. ined. CMA. Junta de Andalucía.
- Borja, F. y Barral, M.A. (2005). *Evolución histórica de Vega de Sevilla. Estudio de geoarqueología urbana*. Actas del aula Hernán Ruiz. Cabildo catedralicio. Sevilla.

- Borja, F. y Román, J.M. (en preparación). *Regionalización ecológica de la comarca de Doñana*. (Proyecto de investigación en curso).
- Borja, C., (en preparación). *Humedales litorales: génesis y evolución. Caracterización geomorfológica y ecodinámica de los humedales del Manto eólico litoral de Abalarío-Doñana (Huelva)*. Tes. doc.
- Borja, F., Lario, J., Zazo, C., Dabrio, E., Borja, C., Roquero, C., Díaz del Olmo, F. y Rubio, J.C. (2005). "Geomorphology of the South-Atlantic Spanish Coast". *Holocene evolution of the Huelva Coast*. pp 12-32. Zaragoza.
- Borja Barrera, F. (2003). *Análisis de Riesgos Geomorfológicos y Evaluación de Procesos de Erosión en la Cuenca del Arroyo del Partido* (proyecto en curso).
- Borrego, J., (1992). *Sedimentología del estuario del río Odiel. Huelva, SW de España*. Tes. doc. (ined.), Universidad de Sevilla 308 págs.
- C.M.A., 2004. *Proyecto Doñana 2005: Análisis de actuaciones y propuestas*. Documento de trabajo nº2. Consideraciones generales, evaluación individualizada de las actuaciones referentes a la Marisma (nº 4, 5, 6, 7 y 8) del proyecto Doñana 2005 y propuestas. (Doc. ined.) 18 págs. Comisión científica de la Conserjería de Medio Ambiente para la coordinación de los Proyectos Corredor Verde del Guadamar-Doñana 2005. Sevilla.
- Capel, J.J. (1981). *Los Climas de España*. Oikos-tau. Barcelona. 429 págs.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2004). *Informe de la Evolución Piezométrica de la Unidad Hidrogeológica 05.51 en el Periodo Octubre 2003- octubre 2004*. (Doc. Inec.). Págs. 5. Sevilla.
- Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (2005). *Evaluación de la Calidad del Agua en el Entorno del Parque Nacional de Doñana*. Sevilla. 50 págs.
- Coletto, M.C., (2003). *Funciones hidrológicas y biogeoquímicas de las formaciones palustres hipogénicas de los mantos eólicos de el Abalarío-Doñana (Huelva)*. Tes. Doc. de Universidad Autónoma de Madrid. 461 págs. más anexos.
- Custodio, 2000. "Gooundwater-dependend wetland. *Acta Geologica Ungarica*, 43-2: 173-202.
- Dolman, A.J., Verhagen A. y Rovers, C.A., (2003). *Global Enviromental Change and Land Use*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 209 págs.
- EEA (2004). Nº 2/2004. *Impacts of Europe's changing climate, an indicator-based assement*. European Environmental Agency. Denmark. 100 págs.
- Font Tullot, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología. 296 págs. Madrid.
- Giannakopoulos, C. (2005): *Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*. National Observatory of Athens. Ed: WWF.

- Gómez, C. & Borja, F. (2000). “Arroyo de la Rocina. Alluvial influenced areas in the NW marshlands of Doñana National Park”. *Environmental changes during the Holocene* (Fieldtrip Guide), pp: 10-14. Commission on the Holocene, INQUA. Sevilla.
- Green, A. J. (2002). “Doñana 2005”. *Cerceta Pardilla (Marmaroneta angustirostris): una especie bandera para el proyecto Doñana 2005*. Pp: 4-5. Ministerio de Medio Ambiente.
- Lario, J., (1996). *Último y presente interglacial en el área de conexión Atlántico-Mediterráneo (Sur de España)*. Variaciones del nivel del mar, paleoclima y paleoambientes. Universidad Complutense de Madrid. 269 págs.
- Lario, J.; Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.J.; Borja, F.; Silva, P.G.; Sierro, F.; González, A.; Soler, V. & Yll, E. (2002). “Changes in sedimentation trends in SW Iberia Holocene estuaries (Spain)”. *Quaternary International*. 93-94:171-176.
- Lins, H.F., Shiklomanov, I.A., Stakhiv, E.Z. “The intergovernmental panel on climate change”. En J. Jäger & H.L. Ferguson (Eds.) *Climate Change: Science, impact and policy. Proceedings of the second world climate conference*. Pág. 87-97. CUP.
- Llamas, M.R. (1988). *Conflicts between wetland new constraints in ground water management: quantity and quality*. Inter. Assoc. Hydrol. Science. Pul., 188: 295-304.
- López Bermúdez, F. (2000): “Jornada técnica sobre desertificación: Proyectos, Estudios y Acciones de Lucha contra la desertificación en España”. *Desertificación y Cambio Climático: Vulnerabilidad e incertidumbre en la región del Sureste Ibérico*. Dirección General para la conservación de la naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Murcia. 12 pág.
- Manzano, M., (2001). “Clasificación de los humedales de Doñana atendiendo a su funcionamiento hidrológico”. *Hidrogeología y recursos hidráulicos*, XXIV: 57-75. Madrid.
- Manzano, M.; y Borja, F. y Montes, C. (2002). “Metodología de tipificación hidrológica de los humedales de Doñana con vistas a su valoración funcional y su gestión. Aplicación a los humedales de Doñana”. *Boletín Geológico y Minero*, vol. 113 (3):313-330.
- Marco, A. (Colaborador) (2002). *Doñana y Cambio Climático. Aportaciones al Seminario celebrado en Sevilla durante los días 18 y 19 de febrero de 2002* WWF/ADENA.
- MIMAM, (2001). Documento Marco para el Desarrollo del Proyecto Doñana 2005. Regeneración Hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marisma del Parque Nacional de Doñana. 201 Pág.
- Ministerio de Medio Ambiente (2005): Evaluación de Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. 2005. Madrid.
- Mitchell, B. (1999). *La Gestión de los Recursos y del medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Págs. 290. Madrid.
- Montes, C., Borja, F., Bravo, M.A. y Moreira, M. (Coords) (1998): *Reconocimiento biofísico de los espacios naturales de Andalucía*. CMA, Junta de Andalucía. Págs. 309. Sevilla.
- Montes, C.; Rodríguez, J.; Borja, F. Lomas, P.; Hernández, M; Sánchez, A.; Fraile, P.; Román, J.M, y García, R. (2003). “El Plan Director de la Red de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía. Una oportunidad para el establecimiento de sistemas de

conservación en el ámbito mediterráneo”. En García R. y Montes C. (Eds.) *Vínculos en el paisaje mediterráneo. El papel de los espacios protegidos en el contexto territorial*. En R. Mora y C. Montes (Eds.), págs: 42-106. Dirón. Geral. de la RENPySA. Consejería d Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 311 págs.

- Montes, C., Borja, F., Arenas, J.M., Manzano, M., Dolz, J. y F. Díaz. (2004). *Proyecto Doñana 2005. Análisis y propuestas de actuaciones. Evaluación individualizada de las actuaciones del Proyecto Doñana 2005 referentes a las Marismas*. Comité científico conjunto de coordinación de los proyectos Doñana 2005 y Corredor Verde del Guadiamar. Junta de Andalucía (doc. ined.).
- Montes, C. & Borja, F. (en preparación). *El Gran Ecosistema Fluvio-litoral de Doñana*.
- MOPU, (1984). *Zonas Húmedas en Andalucía*. Servicios de Publicaciones del M.O.P.U. *
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, G.C., da Fonseca, G.A.B. & Kent, J. (2000) “Biodiversities hotspots for conservation priorities”. *Nature*, 403: 853-858.
- Ruiz Labourdette, D.; Coletto, C.; Bravo, M.A.; Borja, F. y Montes, C., (en preparación). *Formaciones palustres de los mantos eólicos y flecha litoral del Abalario-Doñana*, (E= 1:60.000). CMA.
- Sendra, J. (2002). *Investigación Cuantitativa del Transporte de Sedimentos no Cohesivos en las Avenidas Torrenciales: Aplicación al caso del Arroyo del Partido*. Huelva. Tes. Doc. Universidad Politécnica de Madrid. 400 págs.
- Sendra, J.; Mintegui, J.A. y Robredo, J.C. (2002). “El Arroyo del Partido: Un torrente Dormido”. *MA medioambiente*, 41:52-57.
- Steven J. Eisenreich, JRC, Ispra Italy (coor.-dir.) (2005). *Climate Change and the European Water Dimension*. European Commission- Joint Research Centre. Págs. 253. Italia.
- Suso, J. y Llamas, M.R. (1993). *Influence of groundwater development on the Doñana National Park ecosystems (Spain)*, *Journal and Hydrology*, Vol. 141, pp. 239-269.
- Suso, J. y Llamas, M.R., (1990). El Impacto de la extracción de aguas subterráneas en el Parque Nacional de Doñana. *Estudios geológicos*, 46: 317-345.
- Trick, Th., 1998. *Impactos de las Extracciones de las aguas subterráneas en Doñana: aplicación de un modelo numérico con consideración de la variabilidad de la recarga*. Test: ETSICCPB, UPC. Barcelona.
- Tricart, J., (1987). “Milieu naturel terrestre”. *Revue de géomorphologie dynamique*, 36 (1) : 3-16.
- UPC, 1999. *Modelo regional de flujo subterráneo del sistema acuífero Almonte-Marisma y su entorno*. Doc. y ned. Grupo de Hidrología subterránea de UPC.
- Urdiales, C. (1999). *El sistema de la montaña del río en la marisma del Parque Nacional de Doñana: función, estado y propuestas de actuación*. Doc. ined. Organismo Autónomo de Parques Nacionales.

- WWF/Adena (2001). *Ríos y riberas en torno a Doñana: situación actual y propuestas de conservación y restauración*. Documento no publicado.
- Zazo, C.; Lario J.; Goy, J. L.; Bardají, T.; Dabrio, C. J.; Silva, P. J. & Borja, F. (1996): "Shorts periods of relative high sea level since 6.500 14C yr BP in the Atlantic - Mediterranean region (Iberia)". *International Geological Correlation Program Project 367: Late Quaternary coastal records of rapid change: Application to present and future conditions. IIIrd Annual Meeting* (Australia).
- Zazo, C.; Lario, J.; Goy, J.L.; Lezine, A.M.; Faure, H.; Dabrio; C.J.; Somoza, L. y Borja, F. (1994): "Late-Pleistocene and recent-Holocene rapid coastal changes in south Iberia". *Late Quaternary coastal records of rapid change: Applications to present and future conditions IGCP Project 367*. First International Meeting. Symposium Abstracts. Scotland (U.K.) 13-20.

ANEXO I

PROPUESTA GENERAL DE CLASIFICACIÓN JERÁRQUICA DE ECOSISTEMAS

ORDEN ESCALAR		CONTEXTO ESTRUCTURAL (FACTORES DE CONTROL)	CONTEXTO FUNCIONAL			
ESCALAS DE PERMANENCIA DE ECOSISTEMAS	Ecozona	-MACROCLIMAS (ZONAS CLIMÁTICAS; DIN. GRAL. DE ATMÓSFERA) -ESTRUCTURA GLOBAL DE CONTINENTES Y OCEANOS	ÁMBITO ZONAL			
	Ecodominio	-GRANDES DOMINIOS CLIMÁTICOS (HUSOS MERIDIANOS) -GRANDES CONJUNTOS MORFOESTRUCTURALES CONTINENTALES -HIDRODINÁMICA OCEÁNICA				
	Ecoárea	-ÁREAS CLIMÁTICAS (MASAS DE AIRE Y CENTROS DE ACCIÓN) -GRANDES CONJUNTOS MORFOESTRUCTURALES (MACROMODELADO, FORMAS MAYORES) -GRANDES COMPLEJOS LITOLÓGICOS -GRANDES CÉLULAS DE INTERCAMBIO DE AGUAS (HIDRODINÁMICA)	ESCALA ESPACIAL	ESCALA TEMPORAL GEOLÓGICA	ESCALA TEMPORAL CLIMÁTICA	ESCALA TEMPORAL ANTRÓPICA
	Ecoprovincia	-VARIEDADES CLIMÁTICAS/BIOCLIMÁTICAS -GRANDES UNIDADES RELIEVE (MACROMODELADO, F. INTERMEDIAS) -UNIDADES HIDROGRÁFICAS ESTRUCTURALES (GRANDES CUENCAS H.) -PLATAFORMA CONTINENTAL (MODELADO Y TIPO DE SUBSTRATO)	>10 ⁴ km ²	>10 ⁶ años	>10 ⁴ años	>10 ³ años
		DOMINIOS MORFOCLIMÁTICOS				
ESCALAS DE EVOLUCIÓN DE ECOSISTEMAS	Ecorregión	-REGIONES CLIMÁTICAS -SISTEMAS MORFOGENÉTICOS Y MACROMODELADO (F. MENORES) -SERIES DE VEGETACIÓN Y CLIMA -HIDROLOGIA REGIONAL (ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE ACUÍFEROS/ CUENCAS HIDROGRÁFICAS MENORES)	ÁMBITO REGIONAL			
	Ecodistrito	-VARIEDADES MESOCLIMÁTICAS -BALANCE MORFOGÉNESIS/EDAFOGÉNESIS (STATUS DE SISTEMAS MORFOGENÉTICOS) -TIPOS FORMACIONES SUPERFICIALES Y MESOMODELADO (F MAYORES) -BALANCE PRECIPITACIÓN / ESCORRENTÍA / INFILTRACIÓN				
	Ecosección	-FACIES MESOCLIMÁTICAS -VEGETACIÓN EDAFOFILA -ASOCIACIONES DE FORMACIONES SUPERFICIALES Y MESOMODELADO (FORMAS INTERMEDIAS) -INTERACCIÓN DE PROCESOS HIDROLÓGICOS SUPERF. Y FREÁTICOS	ESCALA ESPACIAL	ESCALA TEMPORAL GEOLÓGICA	ESCALA TEMPORAL CLIMÁTICA	ESCALA TEMPORAL ANTRÓPICA
		SISTEMAS MORFOGENÉTICOS				
ESCALAS DE DINÁMICA DE ECOSISTEMAS	Ecotopo	-CONDICIONES MICROCLIMÁTICAS -PROCESOS MORFODINÁMICOS Y MESOMODELADO (FORMAS MENORES) -TIPOS DE DEPÓSITOS Y SUELOS -COBERTURA VEGETAL -FLUJOS HÍDRICOS LOCALES (SUPERFICIALES, SUBSUPERFICIALES Y SUBTERRÁNEOS)	ÁMBITO LOCAL			
	Ecoelemento	-MICROMODELADO (FORMAS MENORES) -COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y ESTADO SUCESIONAL DE COMU. BIOL. -CUADROS BIO-GEO-QUÍMICOS BÁSICOS DE FORM. SUPERFICIALES -ESTRUCTURA, COMPOSICIÓN Y ORGANIZACIÓN DE CUERPOS DE AGUA				
		PROCESOS MORFODINÁMICOS				

Cada *orden escalar* constituye un nivel de análisis y clasificación de ecosistemas. Los *factores de control* determinan los componentes de la estructura del sistema natural (elementos de clasificación), acotando así el *contexto funcional* de referencia de cada grupo de ecosistemas (zonal, regional o local), así como las magnitudes espacio-temporales a la que éstos se expresan en el territorio (Borja *et al.*, 2004).

9 ANEXO II

PRINCIPALES ETAPAS DE LA LUCHA CONTRA EL CCI

En la reciente historia de la lucha contra el cambio climático inducido, pueden considerarse tres etapas, una primera de reconocimiento del problema, tras numerosas conferencias internacionales a lo largo del periodo 1972-1992, cuando tiene lugar uno de los hitos más importantes de la misma, la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1992); una segunda en la que se materializa la repuesta ante el cambio climático mediante instrumentos jurídicos, englobándose el proceso de trabajo de las Conferencias de las Partes, destacando la tercera sesión celebrada en Kioto (COP 3) como la más importante debido al establecimiento de un Protocolo de reducción de emisiones donde se desarrolla y concreta las prescripciones genéricas de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC), y por último, una tercera etapa donde se consideran numerosos informes que surgen atendiendo a la necesidad de evaluar los impactos previstos a niveles regionales, profundizando en un conocimiento más exhaustivo de los efectos del CCI y su mitigación, estableciéndose como referencia el Tercer Informe de Evaluación del IPCC (2001).

Ante las primeras evidencias del cambio en las proporciones relativas de los gases componentes de la atmósfera, en una **primera etapa**, aparece una preocupación internacional basada principalmente en las emisiones de gases de efecto invernadero, la cual derivará en las primeras conferencias internacionales sobre esta materia. En efecto, a finales de los sesenta surge el Programa Mundial de Investigación Atmosférica junto a las hipótesis de posibles variaciones en nuestro sistema climático, aunque el proceso político no tiene su origen hasta 1972 con la I Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en Estocolmo, en la que destaca: la creación del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la necesidad de iniciar investigaciones para el conocimiento y comprensión de las causas tanto naturales como artificiales de un posible cambio climático, que se le recomienda a la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Desde entonces, han tenido lugar varios eventos internacionales relacionados con esta materia: en 1979 en la Primera Conferencia Mundial sobre el clima, se considera por primera vez el cambio climático como una amenaza real para nuestro planeta. Años después, al principio de la década de los ochenta se constituye la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (conocida como Comisión Brundtland, 1983), donde los temas principales de preocupación fueron el cambio climático y, sobre todo, la reducción de la capa de ozono, los cuales se abordaron en varias conferencias. Este problema se reguló internacionalmente mediante el Convenio de Viena (1985) y el Protocolo de Montreal (1987), en el que la eliminación de los compuestos clorofluorocarbonados (gases de efecto invernadero) era de obligado cumplimiento.

Ya a finales de los ochenta la atención se centra sobre el CC, teniendo lugar en Toronto la primera Conferencia Mundial sobre el Clima (1988) que fija objetivos sobre emisiones, intentando conseguir en el 2005 una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto al año 1988, conocido este objetivo como el Mandato de Toronto. Aunque esta reunión queda un poco en el olvido, fue crucial para la creación en ese mismo año del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), establecido por las Naciones Unidas y la Organización Mundial de Meteorología, con el fin de evaluar y proporcionar asesoramiento científico y socioeconómico a la comunidad internacional.

Dos años después y tras varias conferencias, la ONU celebra la siguiente Conferencia Mundial sobre el Clima (1990), donde se aprueba la resolución sobre la Protección del Clima Global para las generaciones presentes y futuras, y comienza la negociación de un Tratado Internacional sobre el clima. Con el objetivo de preparar un convenio marco que pueda ser ratificado en la

siguiente Conferencia Mundial se crea un Comité de Negociación Intergubernamental. Meses después el IPCC publica su Primer Informe de Evaluación que formó la base científica para la negociación del Convenio Marco de la ONU sobre el Cambio Climático, el cual se adopta en mayo de 1992 con sede en Nueva York.

Como hito fundamental de esta etapa tenemos la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo celebrada en Junio de 1992 en Río de Janeiro, también conocida como Cumbre Mundial de Desarrollo Sostenible (CMDs) o “Cumbre de la Tierra”, siendo el evento medioambiental más relevante producido por la diplomacia internacional y las organizaciones no gubernamentales (ONGs). En esta cumbre se acepta por primera vez un compromiso mundial de desarrollo sostenible, para aprobar la Carta de la Tierra, la Agenda 21 y los acuerdos sobre el clima, la Biodiversidad y la Conservación de Bosques. También se produce la apertura del Convenio Marco para su firma.

En una **segunda etapa** destacamos la respuesta internacional frente al cambio climático, que tras una primera etapa de reconocimiento del problema a nivel planetario mediante conferencias internacionales y pocas actuaciones, se materializa en dos instrumentos jurídicos muy importantes a nivel internacional: la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC) y el Protocolo de Kioto.

La UNFCCC nace con el objetivo de crear un compromiso de reducción y estabilización de emisiones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático. Entra en vigor en 1994, estableciéndose como meta provisional la reducción de emisiones a niveles de 1990 para el año 2000, pero no establece un calendario preciso respecto a la limitación de las mismas. Actualmente, 186 estados han ratificado la Convención.

Otro papel importante lo juegan las “Conferencias de las Partes” (COP) celebradas anualmente desde la entrada en vigor de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático por los países firmantes, que tienen como misión avanzar en el desarrollo jurídico y en la correcta puesta práctica del mismo.

Desde la primera COP en Berlín (1995) hasta la última celebrada en Buenos Aires (2004), se han celebrado diez conferencias de las partes destinadas principalmente a la lucha por la reducción de emisiones y a establecer un consenso entre las partes.

A finales de 1995, el IPCC presenta su Segundo Informe de Evaluación (SIE) en el que participaron más de 2000 científicos y expertos, llegando a la conclusión clave de que *“El conjunto de las evidencias sugiere una influencia humana discernible sobre el clima global”*, implicando claramente al ser humano en el cambio climático actual. Dos años después, este informe fue decisivo en la negociación del Protocolo de Kioto adoptado en la COP 3, más comúnmente conocida como la “Cumbre de Kioto” (1997), siendo el evento más significativo de esta etapa, junto a la UNFCCC, mencionada anteriormente.

Este texto compromete a los países que lo adopten a estabilizar las emisiones de dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorcarbonos, perfluorcarbonos y hexafluoruro de azufre en un nivel que evite una interferencia peligrosa en el sistema climático terrestre, así los países desarrollados tienen que reducir sus emisiones en un 5,2 % como media respecto al nivel de 1990, para alcanzarlo durante el periodo 2008-2012. Como ejemplo podemos citar a Japón que se comprometió a una reducción del 6%, los Estados Unidos al 7% y los países de la Unión Europea al 8%.

Desde 1997, este protocolo ha sido ratificado por numerosos países, entre ellos España, que cinco años después (abril de 2002) aprueba por unanimidad del Parlamento español la ratificación del Protocolo de Kioto, convirtiéndose en el séptimo país de la UE que da este paso.

Se constituye así el Consejo Nacional del Clima en España, órgano consultivo encargado de elaborar la Estrategia Española para el Cumplimiento del Protocolo. En Mayo de 2002, la Unión Europea ratifica el Protocolo tras su aprobación previa en los parlamentos nacionales. Se trata de un gran avance para conseguir su puesta en marcha, ya que hace posible que se cumpla una de las condiciones, que sean más de 55 países los que ratifiquen el tratado.

A pesar de numerosas complicaciones, como la negativa de Estados Unidos (aun siendo responsable del 36,1 % de las emisiones totales), el Protocolo de Kioto ha seguido su camino, entrando en vigor el 16 de Febrero de 2005 con la ratificación de la Federación Rusa, consiguiendo así los 55 países cuyas emisiones de CO₂ suman al menos el 50% del total para el año 1990.

En la **tercera etapa**, se han seleccionado los informes y trabajos más relevantes para el avance en el conocimiento del cambio climático inducido, centrándonos principalmente en los de ámbito europeo. La preocupación ahora no sólo se centra en la reducción de emisiones para frenar el CC, sino también en los efectos que puede provocar y que ya está provocando el calentamiento global sobre los sistemas naturales y antrópicos, además de estudiar las posibles estrategias para minimizar el impacto.

Durante el periodo Enero-Marzo de 2001, se aprueba el Tercer Informe de Evaluación (TIE) del IPCC. Se trata del primer consenso científico global según el cual la acción del hombre es responsable de la alteración del clima mundial. Este informe completo (ciencia, impactos y economía) se adopta en abril de 2001 en una sesión Plenaria del IPCC en la sede del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en Nairobi, Kenia. En este informe las proyecciones futuras de incremento de temperatura oscilan en un rango de 1,4-5,8 °C para el periodo 1990-2100 y el aumento del nivel mar variará entre 0,09 y 0,98 m para el periodo 1999-2100.

Después del TIE del IPCC, han surgido diferentes informes de carácter más regional basados en el mismo, aunque nosotros nos centraremos en los de ámbito europeo. En el 2004 la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA), publica dos informes importantes, el primero "*Impacts of Europe's changing climate, an indicator-based assessment*", interpretando a escala europea las bases del TIE. En este informe se presentan las tendencias climáticas pasadas de Europa, su estado actual y los posibles cambios futuros sobre el medio ambiente y la sociedad europea. En Octubre de ese mismo año, la EEA publica otro informe "*Impacts of a Warming Climate*", concluyendo que el calentamiento en la región ártica impactará gravemente sobre la tierra, la flora, la fauna, mamíferos y pueblos indígenas de la región.

En Marzo de 2005, se presenta un nuevo informe sobre "*Climate Change and the European Water Dimension*", con el que el Joint Research Centre de la Comisión Europea contribuye a la evaluación de los posibles impactos del cambio climático sobre el recurso agua y su calidad, tanto en aguas costeras como del interior.

El informe "*Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*" elaborado por Giannakopoulos, C. (2005) National Observatory of Athens, nos proyecta los principales impactos por los que se verá afectada la Región Mediterránea con un aumento de temperatura media global de 2°C, la cual probablemente se alcanzará en el periodo 2030-2060 del presente siglo. En este informe se estudia la variación de diferentes parámetros como el número de días de verano (Tmax > 25°C), número de días de calor (Tmax > 30°C), precipitación anual total acumulada, etc, respecto de la media de control que se establece para el periodo 1961-1990.

Por último, incluimos un informe de ámbito nacional, emitido por el Ministerio de Medio Ambiente del estado español, *Evaluación de Impactos en España por Efecto del Cambio Climático* (2005), realizado por más de 300 científicos coordinado por la

Universidad de Castilla la Mancha y la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). La temperatura media en España ha aumentado más en el último siglo que la media europea y mundial, siendo este país uno de los más afectados de Europa por el cambio climático. Como conclusión muy general del informe, podemos decir con un alto nivel de confianza, que el clima futuro en España sufrirá cambios notorios, sobre todo en su temperatura, volviéndose más cálido, con una tendencia creciente a la aridificación en su parte meridional. También son esperables cambios en las precipitaciones con una tendencia general a disminuir, aunque en éstas existe un mayor grado de incertidumbre que en las variaciones térmicas.

10 ANEXO III

ESTRUCTURA DE LA PROPUESTA DE ADAPTACIÓN/MINIMIZACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ÁREA DE DOÑANA, INCLUYENDO RESUMEN DE *DIRECTRICES* BÁSICAS PARA EL DE DESARROLLO DE LA BATERÍA DE LOS POSIBLES TIPOS DE ACCIONES A PONER EN MARCHA.

Líneas de actuación Campos Estratégicos	LINEA DE ACTUACIÓN RELATIVA A LA ADAPTACIÓN-MITIGACIÓN ANTE LOS EFECTOS DEL CCI SOBRE LOS SISTEMAS NATURALES	LINEA DE ACTUACIÓN RELATIVA A LA ADAPTACIÓN-MITIGACIÓN ANTE LOS EFECTOS DEL CCI SOBRE LOS SISTEMAS SOCIOECONÓMICOS	LINEAS DE ACTUACIÓN RELATIVAS A LA ADAPTACIÓN-MITIGACIÓN ANTE LOS EFECTOS DEL CCI SOBRE LOS SISTEMAS CULTURALES
MANTENIMIENTO DE LA DIVERSIDAD ECOLÓGICA	<p>DIRECTRIZ: promover de una gestión integral del medio natural del área de Doñana tendente a conservar su integridad ecológica y su biodiversidad en el área de Doñana, así como diseñar un nuevo paradigma de la restauración ecológica encaminada no sólo a rescatar los ecosistemas de los estados no deseados a los que hayan podido llegar por impactos del pasado, sino a prever su inserción en el marco de las futuras condiciones derivadas del CCI.</p>	<p>DIRECTRIZ: mantenimiento y fortalecimiento de la salud ecológica de los ecosistemas a fin de salvaguardar, frente a los efectos del cambio climático inducido, la capacidad que poseen los sistemas naturales con integridad ecológica de suministrar, de manera sostenible (esto es, sin bloquearse ni colapsarse), flujos sostenibles de bienes y servicios a la sociedad.</p>	<p>DIRECTRIZ: elaborar y difundir nuevos conceptos y modelos de funcionamiento de la naturaleza del área de Doñana que primen la condición cambiante y evolutiva de la misma, frente a concepciones estáticas que entienden la restauración y la conservación como la recuperación y el mantenimiento de situaciones “ideales”, por regla general más cercana a una “foto fija” del sistema natural que al ente dinámico que es, máxime cuando esta dinámica se verá acelerada bajo la incidencia futura del cambio climático inducido.</p>
DESARROLLO DE MEDIDAS DE DIVERSIFICACIÓN SOCIOECONÓMICA FRENTE A NUEVAS PRESIONES TERRITORIALES	<p><i>DIRECTRIZ: promocionar, frente a las nuevas presiones territoriales, una utilización racional de los recursos del área de Doñana acorde con las nuevas condiciones de funcionamiento del sistema natural derivadas del cambio climático inducido, así como de crear un estilo de gestión lo suficientemente flexible como para acomodarse a los nuevos esquemas del cambio permanente.</i></p>	<p>DIRECTRIZ: dilucidar los posibles conflictos territoriales provocados por la tensión de los cambios derivados de las variaciones del clima sobre el sistema natural de Doñana, así como de orientar las oportunidades que brinda el cambio de cara a innovar acerca de nuevos usos, de manera alternativa a la tendencia imperante basadas en el consumo.</p>	<p>DIRECTRIZ: promover la capacitación de los profesionales del entorno de Doñana, incitándolos a adquirir el mayor grado posible de compromiso ante la necesidad de dar respuesta a los cambios derivados de unas nuevas condiciones climáticas, así como de articular foros y ámbitos de intercambios y cooperación de carácter multisectorial.</p>
IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE GESTIÓN DE CARÁCTER ADAPTABLE	<p>DIRECTRIZ: Implementación, con referencia al área de Doñana, de propuestas de gestión encaminadas, por una parte, a reforzar las actuaciones políticas y técnicas basadas decididamente en el conocimiento científico y en la colaboración interinstitucional y, por otra, al establecimiento de sistemas de indicadores específicos aplicados de manera consecuente tanto al estudio del cambio climático inducido como al seguimiento y la evaluación de todo tipo de programas e iniciativas desarrollados en este campo, a fin de permitir la mayor certidumbre y flexibilidad posibles en la toma de decisiones.</p>		