

Cambio Climático

impacto y adaptación

en la Comunidad Autónoma del País Vasco

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN, LURRALDE
PLANGINTZA, NEKAZARITZA
ETA ARRANTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL,
AGRICULTURA Y PESCA

Eusko Jauriaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

ISBN 978 84 457 3175 8



9 788445 731758

CAMBIO CLIMÁTICO

impacto y adaptación

en la Comunidad Autónoma del País Vasco

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN, LURRALDE
PLANGINTZA, NEKAZARITZA
ETA ARRANTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL,
AGRICULTURA Y PESCA

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco

Vitoria-Gasteiz, 2011

Un registro bibliográfico de esta obra puede consultarse en el catálogo de la Biblioteca General del Gobierno Vasco: <http://www.euskadi.net/ejgvbiblioteca>

Edición:

1ª, agosto de 2011

Tirada:

1.500 ejemplares

- © Administración de la Comunidad Autónoma del País Vasco.
Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial,
Agricultura y Pesca

Edita:

Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia
Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco
Donostia-San Sebastián, 1 - 01010 Vitoria-Gasteiz

Gestión y coordinación del proyecto y del documento:

Unidad de Medio Ambiente de Tecnalia
Oscar Santa Coloma, Efrén Feliú, Maddalen Mendizabal

Diseño y maquetación:

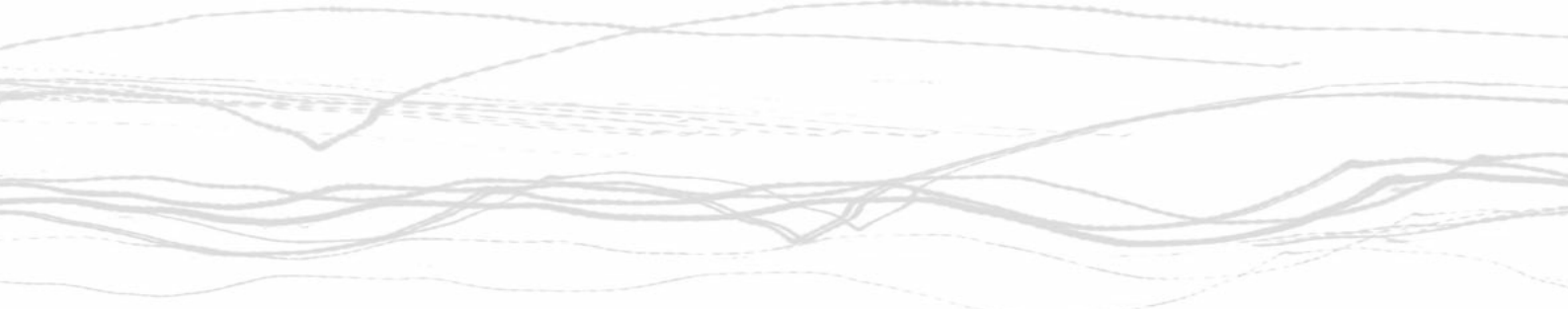
Miren Unzurrunzaga Schmitz

Impresión:

ONA - Industria Gráfica, S. A. - Pamplona

ISBN: 978-84-457-3175-8

D.L.: NA 2646/2011



La comunidad científica coincide en que el cambio climático es uno de los mayores retos a los que debe hacer frente nuestra sociedad a lo largo de este siglo. El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), confirma la certidumbre y gravedad de este fenómeno y de sus impactos, que pueden derivar en sequías, inundaciones, problemas de salud, o de disponibilidad de alimentos.

Actualmente el debate sobre el impacto del cambio climático y sobre la necesidad de adaptación ha pasado también al ámbito político y a los medios de comunicación. Pero no siempre ha sido así; durante muchos años, las políticas nacionales, regionales y locales de cambio climático se han centrado fundamentalmente en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que habitualmente se denomina mitigación.

A pesar de ello, la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera ha aumentado considerablemente en el último siglo y, como consecuencia, se están produciendo cambios en todo el mundo, como la elevación de las temperaturas medias o del nivel del mar. Y puesto que los procesos de concentración de estos gases tienen una inercia elevada, por mucho que se reduzcan las emisiones, incluso en los escenarios más optimistas, tendremos que hacer frente, inexorablemente, a los efectos del cambio climático.

Por eso, la perspectiva de la adaptación a los potenciales efectos del cambio climático ha ido ganando presencia en las políticas climáticas.

La actividad científica en este ámbito es fundamental para poder orientar con rigor la toma de decisiones políticas *Science for Policy* (ciencia para la política).

El Libro Blanco de la Comisión Europea sobre adaptación al cambio climático introduce en la agenda europea el desarrollo de planes de adaptación, lo que ha llevado a su vez en algunas regiones a elaborar sus propias estrategias de adaptación en materia de cambio climático. En el mismo también se concluye que «la acción preventiva ofrece claras ventajas económicas, ambientales y sociales» y que la mayor parte de las medidas de adaptación se adoptarán a nivel regional o local.

Para ello, propone actuar en diferentes ámbitos, como: generación de una base de conocimiento sólida sobre el impacto y las consecuencias del cambio climático; integración de la adaptación en las políticas clave, de forma transversal; utilización de una combinación de instrumentos estratégicos (instrumentos de mercado, orientaciones, asociaciones entre el sector público y el privado) para garantizar la eficacia de la adaptación y refuerzo de la cooperación entre los diferentes niveles de la Administración.

En este contexto, en la Comunidad Autónoma Vasca se ha desarrollado el proyecto K-Egokitzen, que financiamos los Departamentos de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca y de Industria e Innovación, Comercio y Turismo del Gobierno Vasco. El objeto de esta iniciativa es identificar los impactos del cambio climático y valorar la vulnerabilidad de los diferentes sistemas y sectores en nuestro territorio, con objeto de diseñar estrategias de adaptación.

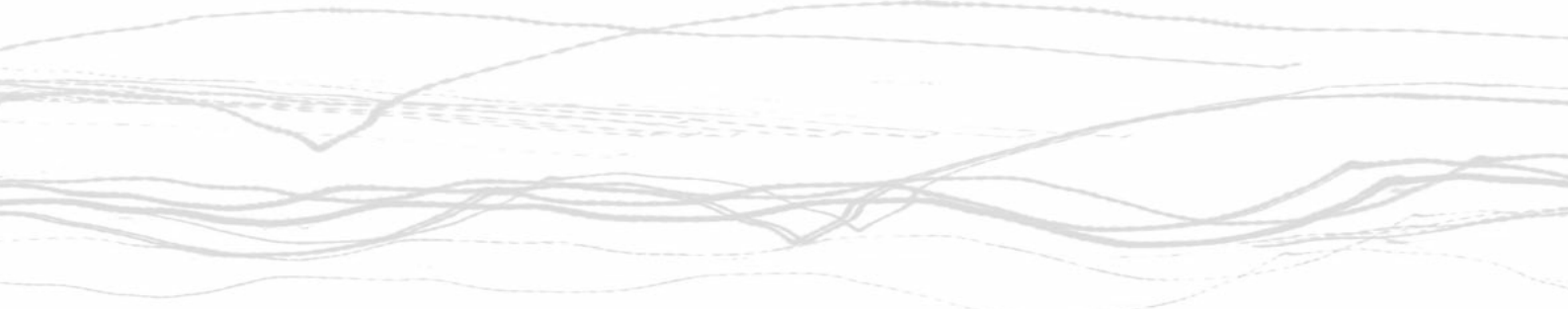
En este proyecto han participado diversos equipos de investigación de la Universidad del País Vasco y de Tecnalia, así como del centro de excelencia en investigación, *Basque Centre for Climate Change* (BC3) y se articula en torno a cuatro áreas temáticas: recursos hídricos, territorio y medio urbano; costas; ecosistemas terrestres (naturales y agrarios) y ecosistemas marinos.

Desde el Gobierno Vasco consideramos que la **difusión y socialización del conocimiento** sobre cambio climático —entre las Administraciones Públicas vascas, agentes sociales interesados y la ciudadanía en general— es esencial. En este sentido, esta publicación presenta los resultados obtenidos en el curso del proyecto mencionado —K-Egokitzen—, sobre impactos y adaptación al cambio climático en la Comunidad Autónoma Vasca.

Espero que esta publicación contribuya al objetivo de mejorar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático y la adaptación a los mismos en nuestra sociedad y que proporcione unas bases sólidas para orientar las decisiones políticas en esta materia, preparando, asimismo, a la sociedad para las transformaciones necesarias.

Pilar Unzalu

Consejera de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca



.....

Proyecto K-egokitzen
Cambio climático: impacto y adaptación
Klima aldaketa: inpaktua eta egokitzea
expediente: ie09-245

K-Egokitzen «Cambio climático: impacto y adaptación», es un proyecto de 3 años de duración, coordinado por la Unidad de Medio Ambiente de Tecnalia Research and Innovation y en el que participan otros 2 centros de la Corporación Tecnalia (Unidad de Investigación Marina de AZTI-Tecnalia y Unidad de Medio ambiente-Recursos naturales de Neiker-Tecnalia) y 12 equipos de investigación de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU), además de la colaboración del BC3 (Basque Center for Climate Change - BC3). Su principal objetivo es diseñar estrategias de adaptación para la sociedad (personas, comunidades...) y los sistemas naturales en respuesta a escenarios de cambio climático previstos para el País Vasco, minimizando sus efectos y considerando las oportunidades derivadas.

La finalidad del trabajo es identificar y evaluar los potenciales impactos esperados debido al cambio climático en los recursos hídricos, medio costero y medio urbano, así como en los ecosistemas marinos, terrestres naturales y agrarios. A través de este estudio se amplía el conocimiento sobre la función de los sistemas, lo que nos permite conocer la efectividad del diseño de las medidas de adaptación.

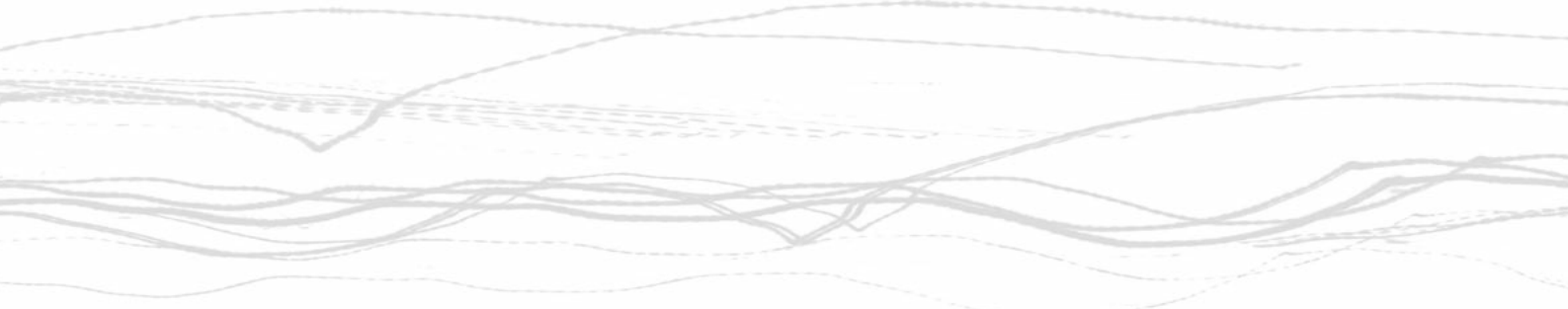
Basándose en el conocimiento de las evidencias del cambio climático y los impactos esperados sobre los diferentes sistemas estudiados de la Comunidad Autónoma del País Vasco (en adelante CAPV), se plantean estrategias de adaptación de los sistemas humanos y naturales en respuesta a los posibles escenarios.

K-Egokitzen es un proyecto de investigación orientada, cofinanciado por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca de Gobierno Vasco, a través del programa ETOR-TEK de la Sociedad para la Promoción y Reconversión Industrial (SPRI), y el Departamento de Industria e Innovación en el marco de Plan Vasco de Ciencia, Tecnología e Innovación 2010.



índice

15	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO
19	CAMBIOS PROYECTADOS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE
20	CAMBIOS PROYECTADOS EN LA PRECIPITACIÓN
21	CAMBIOS PROYECTADOS EN OTRAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS: EVAPORACIÓN, VELOCIDAD DEL VIENTO Y RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE
22	CAMBIOS PROYECTADOS EN EL OCÉANO: CALENTAMIENTO, ACIDIFICACIÓN Y ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR
27	IMPACTOS Y ADAPTACIÓN
29	RECURSOS HÍDRICOS
38	MEDIO URBANO
47	ZONA COSTERA
53	BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS Y RECURSOS MARINOS
64	BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS TERRESTRES Y RECURSOS EDÁFICOS
78	RECURSOS AGROPECUARIOS Y FORESTALES
97	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS DE FUTURO
105	RECURSOS HÍDRICOS
106	MEDIO URBANO
107	ZONA COSTERA
108	BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS Y RECURSOS MARINOS
109	BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS TERRESTRES Y RECURSOS EDÁFICOS
110	RECURSOS AGROPECUARIOS Y FORESTALES
111	AGRADECIMIENTOS



El Libro Blanco sobre adaptación al cambio climático de la Comisión Europea (2009) ratifica que es necesario integrar en nuestras políticas las consideraciones relativas a la adaptación sobre la base de análisis científicos y económicos sólidos. Así debe analizarse cómo reorientar cada una de las áreas políticas para facilitar la adaptación, acción que en algunos casos requerirá financiación.

El 4º Informe del Panel Intergubernamental de cambio climático (IPCC) (Adger *et al.* 2007) define medidas de adaptación al cambio climático como ajustes en la toma de decisiones para reforzar la resiliencia o reducir la vulnerabilidad ante cambios observados o pronosticados en el clima. Según los escenarios desarrollados por el IPCC (2007) las zonas costeras y urbanas y las llanuras aluviales densamente pobladas afrontan y afrontarán problemas especiales donde la gravedad de los impactos del cambio climático variará según las regiones. Parece claro que el cambio climático tendrá especiales repercusiones en cada uno de los sectores económicos (Comisión Europea 2009). El sector de la agricultura, en relación con el rendimiento de las cosechas y la producción de ciertas tierras, el sector forestal, donde cabe citar cambios en la productividad y salud de los bosques, los sectores de la pesca y la acuicultura, para los que aumentarán las tasas de erosión costera, y donde la protección que brindan las defensas existentes puede resultar insuficiente.

Por otra parte, el aumento de la demanda de refrigeración en verano y el impacto de fenómenos meteorológicos extremos afectarán en particular a la distribución de electricidad, a las infraestructuras (edificios, transportes y suministro de agua y electricidad), lo que supone una amenaza concreta en zonas densamente pobladas (IPCC 2007; Comisión Europea 2009). Esto implica la necesidad de plantear estrategias a corto y a largo plazo en cuanto a la ordenación territorial y costera, así como en sectores transversales como el transporte, el turismo, la industria y la energía. En cuanto al ciclo hidrológico, los cambios en las variables hidrometeorológicas en primer orden generarán un impacto en los caudales: disminución del 10-30% en la escorrentía en las regiones secas de latitudes medias (ocurrencia probable: 66 a 90%); aumento de 10-40% en la escorrentía en latitudes altas y en regiones tropicales húmedas (muy probable (90 a 99%).

En lo que respecta a la elaboración de políticas de adaptación al cambio climático y a la integración de estas en políticas sectoriales, las políticas internacionales, nacionales, regionales y locales de cambio climático han estado durante años focalizadas en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, habitualmente denominado mitigación, y desde hace relativamente poco tiempo se incorpora con mayor presencia en dichas políticas la perspectiva de la adaptación a los potenciales efectos del cambio climático, entrando a formar parte con cierta relevancia de la agenda política, aunque bien es cierto que

con un desarrollo desigual en función de los casos. Con el objeto de fomentar el *Science for Policy*, o ciencia para la política en esta materia, Internacionalmente han sido creadas numerosas iniciativas de investigación promovidas o apoyadas desde administraciones públicas, para constatar las evidencias del cambio y valorar la vulnerabilidad de sistemas potencialmente afectados, como el *Climate Impacts Programme* (UK) o *Knowledge for Climate* (NL).

Existen además dos iniciativas relevantes que pueden ser una referencia interesante. Por una parte la ERA-net sobre adaptación al cambio climático CIRCLE, como foro de encuentro de administraciones europeas preocupadas por la adaptación al cambio climático, en la que participa IHOBE como *associated partner* (no de pleno derecho), en el que se pretende coordinar acciones de investigación bajo un enfoque *science for policy*, con un importante énfasis en el análisis de casos de políticas públicas así como la divulgación. Por otra parte, el programa ESPON (*European Spatial Planning Observation Network*) está desarrollando un proyecto del que ya existen primeros resultados, en el que establece una metodología homogeneizada –basada en los factores de análisis aceptados internacionalmente– para el estudio comparado de la vulnerabilidad regional al cambio climático en Europa.

Del Plan Nacional de Adaptación al cambio climático (Ministerio de Medio Ambiente 2006) que se define como un marco de referencia para la coordinación entre las Administraciones Públicas en las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España, se reconoce, además, que las «acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a nivel nacional o regional, pues los impactos y las vulnerabilidades son específicas de cada lugar», por lo que es necesario «diseñar un marco de actuación adecuado para el conjunto de iniciativas relativas a la adaptación al cambio climático», lo que «supone una mayor coordinación y eficacia de las actividades que se llevan a cabo en este campo», para lo cual consideramos idóneo la línea de investigación propuesta en este proyecto sobre gobernanza adaptativa. Para alcanzar su meta el Plan Nacional de Adaptación al cambio climático se plantea los siguientes objetivos, con los que las líneas de investigación propuestas son concordantes:

- Desarrollar los escenarios climáticos regionales para la geografía española.
- Desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos.
- Incorporar al sistema español de I+D+i las necesidades más relevantes en materia de evaluación de impactos del cambio climático.
- Realizar continuas actividades de información y comunicación de los proyectos.
- Promover la participación de todos los agentes implicados en los distintos sectores y sistemas, con objeto de integrar la adaptación al cambio climático en las políticas sectoriales.

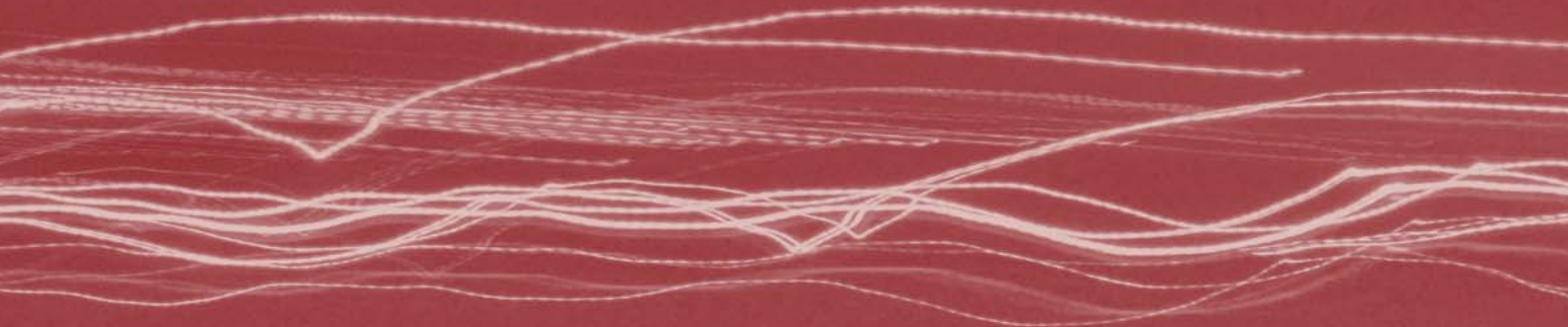
- Elaborar informes específicos con los resultados de las evaluaciones y proyectos e informes periódicos de seguimiento de los proyectos y del conjunto del Plan Nacional de Adaptación.

En esa misma línea de actuación, en el País Vasco se redacta el Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático (2008-2012) que tiene como visión «conseguir que en 2020 la Comunidad Autónoma del País Vasco haya dado pasos irreversibles hacia la consolidación de un modelo socio-económico no dependiente del carbono, minimizando nuestra vulnerabilidad frente al cambio climático», para lo que se plantea dos prioridades: 1) Actuar frente al cambio climático y prepararnos para sus consecuencias; y 2) Impulsar una cultura de la innovación que permita avanzar hacia una economía vasca sostenible, basada en pautas de producción y consumo limpias, no dependiente del carbono. La clave del éxito de este Plan es «lograr una óptima coordinación institucional y propiciar un profundo cambio en la forma en que instituciones, empresas y ciudadanía entendemos nuestra relación con la naturaleza son las claves del éxito. Esta es la apuesta que ha hecho el Gobierno Vasco que, respondiendo al llamamiento del Panel Intergubernamental del Cambio Climático y del propio Ban Ki Moon, emite a través del Plan Vasco de lucha contra el Cambio Climático 2008-2012 una señal nítida e inequívoca de que el País Vasco ha pasado ya a la acción».

En el marco de esta estrategia, en diciembre de 2009 se abre la Oficina Vasca de Cambio Climático y el Departamento de Medio Ambiente se plantea revisar el Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático. Algunas de las mejoras, que son concordantes con el planteamiento de este proyecto son: incluir las áreas de Empleo y Economía en la Oficina Vasca de Cambio Climático, la lucha contra el cambio climático se convierte en una de las prioridades del departamento y también del Gobierno, se empieza a trabajar en la elaboración de la futura ley de cambio climático, que se quiere aprobar en 2011.

La implicación del Gobierno Vasco por la adaptación al cambio climático se plasma también en su apoyo a la I+D relacionada con esta temática, prueba de ello es este mismo Proyecto K-Egokitzen «Cambio climático: impacto y adaptación - Klima Aldaketa: Impaktua eta Egokitzea», proyecto de Investigación Estratégica de la Red Vasca de Ciencia, Tecnología e Innovación del Gobierno Vasco (2007-2010). En él participan 15 grupos de investigación pertenecientes a centros tecnológicos (Tecnalia-Unidad de Medio Ambiente, Azti-Tecnalia y Neiker-Tecnalia) y a la Universidad del País Vasco. Actualmente la iniciativa cubre las áreas de investigación: 1) Recursos hídricos; 2) Costas; 3) Ecosistemas marinos; 4) Ecosistemas terrestres (naturales y agrarios); 5) Medio urbano.

El enfoque de los trabajos de investigación ha seguido en la mayoría de las 20 líneas de investigación la secuencia evidencias-escenarios-impacto-vulnerabilidad-adaptación, aunque se quiere avanzar en un futuro en la cobertura territorial de los estudios realizados, y profundizar en el diseño de algunas de las medidas de adaptación. En cualquier caso, ya se cuenta con datos relevantes sobre los principales efectos que tendrá el cambio climático en la CAPV, los cuales se presentan de forma resumida en este documento, y se está avanzando en las respuestas que se deben plantear para hacer frente a las consecuencias negativas en las que ello derive.

A series of overlapping, wavy white lines of varying thicknesses and colors (from light to dark) are scattered across the middle of the page, creating a sense of movement and complexity. A vertical dotted line is located in the top right corner, and a horizontal dotted line is located at the bottom of the page.

Escenarios de cambio climático

- CAMBIOS PROYECTADOS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE
- CAMBIOS PROYECTADOS EN LA PRECIPITACIÓN
- CAMBIOS PROYECTADOS EN OTRAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS: EVAPORACIÓN, VELOCIDAD DEL VIENTO Y RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE
- CAMBIOS PROYECTADOS EN EL OCÉANO: CALENTAMIENTO, ACIDIFICACIÓN Y ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

Escenarios de cambio climático

En primer lugar debe observarse que existen pocos estudios que se centren en el análisis de los escenarios climáticos correspondientes a la zona del País Vasco. Por ello, las estimaciones actuales se deben considerar como una primera aproximación. Las principales variables que se verán afectadas por el cambio climático y que se analizan en este documento son la temperatura del aire, la precipitación, el nivel y temperatura del mar, acidificación, oleaje y otras variables de incidencia general como evaporación, velocidad del viento y radiación. En el marco de K-Egokitzen-I se ha estudiado la tendencia decreciente en la humedad disponible en el sector central del Norte de la Península Ibérica desde 1960, así como la probabilidad de incidencia de trimestres extremadamente áridos (cálidos y secos).

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2000) proporciona diferentes escenarios climáticos globales, que contemplan una gran diversidad de factores determinantes de las emisiones futuras, desde la demografía hasta la evolución tecnológica y económica. Asimismo, contemplan el intervalo de valores de emisiones de todas las clases pertinentes de gases de efecto invernadero y de azufre, más los factores determinantes de éstos. En concreto se distinguen cuatro grupos de escenarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEIs), de las cuales en este estudio se han utilizado 3 (A2, B2 y A1B):

- A1. Escenarios de Rápido Crecimiento Global. Describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B).
- A2. Escenarios de Crecimiento Regional. Describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

- B1. Escenarios de Crecimiento Sostenible Global. Describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y de la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos.
- B2. Escenarios de Crecimiento Sostenible Regional. Describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Calentamiento en la temperatura superficial del mar en el periodo 1946-2007: 0.26 °C/década desde 1977.
- La velocidad de ascenso del nivel marino durante el siglo XX es de 2 mm/año.
- Mayor radiación solar (1,1 W/m².día por década desde 1980). Probablemente se ha producido una mayor transparencia de las aguas y una menor disponibilidad de nutrientes.
- Incremento de la temperatura de agua (0,7-1 °C) en estuarios como respuesta al incremento de la temperatura del aire (por cada incremento de 1 °C). Disminución de la concentración de oxígeno disuelto al aumentar la temperatura en el interior de los estuarios.
- Probable disminución del pH del agua de mar (acidificación) lo cual podría explicar el menor crecimiento detectado en las conchas del mejillón. El valor de pH actual en la costa vasca es de 8,3- 8,4.
- La aridez y, por tanto, el estrés por déficit hídrico se está incrementando en el sector central del Norte de la Península Ibérica debido al cambio climático. La humedad disponible durante el periodo 1991-2008 fue un 30 % menor que en 1961-1990.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Calentamiento del mar: 1.5-2.05 °C en los primeros 100 m de profundidad (bajo escenario A1B).
- Ascenso del nivel medio del mar: 29-49 cm (bajo escenario A1B).
- Aumento de la temperatura mínima y máxima extrema: 1-3 °C y 3 °C respectivamente (bajo escenario A1B).
- Reducción anual de la precipitación: 15-20% (disminución en verano, incremento en invierno) e incremento en la precipitación extremal: 10% (bajo escenario A1B).
- Disminución anual de la evaporación: 0.6-0.8 mm/día (bajo escenarios A2 y B2).
- Reducción anual en la velocidad de viento: 0.4-0.6 m/s (bajo escenarios A2 y B2).
- Aumento anual de la radiación sobre la superficie: 15-20 W/m² (bajo escenarios A2 y B2).

AUTORES

Cambios proyectados en la temperatura del aire. Unidad de Medio Ambiente de Tecnalía: Juan Angel Acero, Julia Hidalgo, Iratxe Gonzalez. Neiker-Tecnalia: Oscar del Hierro.

Cambios proyectados en la precipitación. Azti-Tecnalia: Roberto Moncho, Guillem Chust, Unidad de Medio Ambiente de Tecnalía: Julia Hidalgo, Maddalen Mendizabal. Neiker-Tecnalia: Oscar del Hierro.

Cambios proyectados en otras variables atmosféricas evaporación, velocidad del viento y radiación solar incidente. Neiker-Tecnalia: Mirian Pinto, Oscar del Hierro.

Cambios proyectados en el océano: calentamiento, acidificación y ascenso del nivel del mar. Azti-Tecnalia: Ainhoa Caballero, Guillem Chust. UPV/EHU – Geología Litoral: Alejandro Cearreta, Eduardo Leorri, María Jesús Irabien y Ane García Artola.

CAMBIOS PROYECTADOS EN LA TEMPERATURA DEL AIRE

Para finales del s. XXI se espera que las temperaturas mínimas extremas se vean incrementadas entre 1 y 3 °C (con una desviación estándar de 0,53 °C) durante los meses de invierno. La media de las temperaturas mínimas extremas para el periodo 1978-2000 es de -2,35 °C, mientras que para el periodo 2070-2100 se prevé que sea de -1.84 °C. Es decir, estas temperaturas muestran una tendencia positiva con un incremento medio de 0.51 °C. Además, todos los modelos muestran una disminución del 50% en el número de días helados ($T_{min} < 0$ °C). Debido a este descenso en la duración y frecuencia de las olas de frío¹ (episodios de entre 7 y 19 días), se prevé la desaparición de este fenómeno por completo a partir del 2020.

Con respecto a las temperaturas máximas extremas (Figura 1), éstas muestran también una tendencia positiva con un incremento a finales de s. XXI de 3 °C (con una desviación estándar respecto a la media de 1.40 °C) durante los meses de verano. La media de estas temperaturas máximas para el periodo 1978-2000 es de 34.85 °C mientras que para el periodo 2070-2100 se prevé que sea de 38.89 °C, produciéndose una anomalía (4.04 °C) mucho mayor que para las temperaturas mínimas extremas. A consecuencia de los cambios, se esperan olas de calor más largas y un ligero aumento de su frecuencia. Durante el periodo de referencia (1978-2000) solo el 10% de los días de verano se inscribían en periodos de olas de calor. Sin embargo, entre los años 2020 y 2050 este número ascenderá a 30%, pudiendo llegar a 50% a finales de siglo. Este resultado concuerda con el incremento en número y duración de episodios de olas de calor previsto

¹ Las olas de frío/calor se han calculado a partir del método definido durante el proyecto de investigación europeo STARDEX (índice 125Fd) y se refiere a periodos de seis días consecutivos en los que la temperatura es menor/mayor que la media estacional para un periodo de control -5 °C/+5 °C.

en otras partes de Europa (Schär y coautores, 2004; Beniston y Diaz, 2004). Con respecto a este fenómeno, se ha observado que para el período de referencia la media de las temperaturas máximas del conjunto de modelos es de 33.60 °C con una frecuencia de 1-4 olas de calor por verano y una duración media de 13.8 días. Sin embargo, para finales de siglo (2070-2100), se espera que la media de la temperatura involucrada en las olas de calor se incremente a 36.19 °C y aunque la frecuencia de ocurrencia será similar, la duración media de la misma aumentará a 30.4 días.

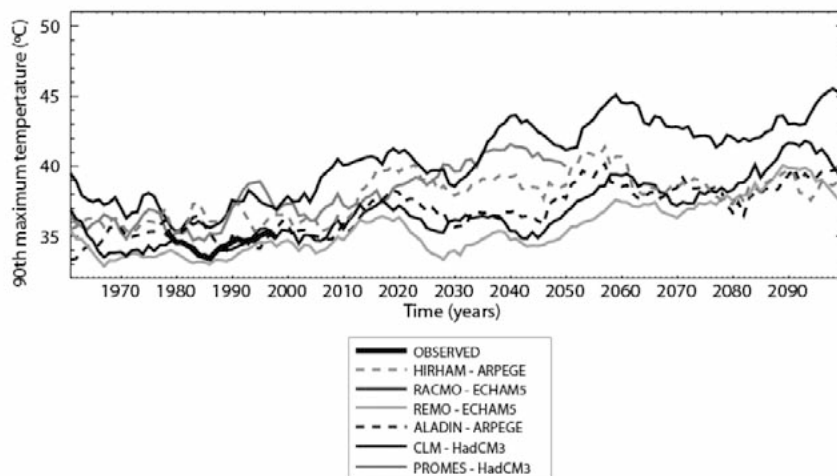


Figura 1. Serie temporal de las temperaturas máximas en verano para seis modelos climáticos regionales comparados con las observaciones durante el período de control (1978-2000).

CAMBIOS PROYECTADOS EN LA PRECIPITACIÓN

Tanto los modelos globales como los regionales² apuntan a una disminución de la precipitación en la CAPV. Los modelos regionales prevén una reducción anual de la precipitación de entre un 15 y 20% para el escenario de final del s. XXI.

2 En febrero de 2007, se ha publicado el Informe *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*, con una resolución aproximada de 50 km. En 2009 se publicó el informe del proyecto Europeo ENSEMBLES con una resolución de 25 km.

Aunque la distribución de la precipitación a lo largo del año no muestra un claro patrón de comportamiento, éstas apuntan a un aumento durante los meses invernales (diciembre a febrero) estimado entre un 5 y 20% y una disminución durante los meses de verano (junio a agosto) estimada entre un 30 y 50%. El principal cambio pluviométrico podría estar más condicionado por el reparto estacional de las lluvias (con una mayor heterogeneidad espacial y temporal) que por la propia disminución porcentual³. Previsiblemente, disminuirá la frecuencia de días de lluvia que superan los umbrales de 1,5 y 10 mm y aumentará el número de días que superan los 30 mm (lluvia muy intensa). Se espera un incremento del 10% (Chust *et al.*, In press) en la precipitación extremal diaria durante el s. XXI (bajo el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero A1B) (IPCC, 2001).

CAMBIOS PROYECTADOS EN OTRAS VARIABLES ATMOSFÉRICAS: EVAPORACIÓN, VELOCIDAD DEL VIENTO Y RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE

Otras variables susceptibles de sufrir modificaciones debido al cambio climático son la evaporación (esta modificación podría variar la radiación de onda corta incidente sobre todo en verano), la velocidad del viento a 10 metros y radiación solar incidente. El cálculo de los escenarios climáticos se ha realizado utilizando los resultados del proyecto PRUDENCE (<http://prudence.dmi.dk>), que contiene proyecciones de cambio climático para Europa con una resolución horizontal de aproximadamente 50 km y para los escenarios A2 y B2.

Se espera una disminución generalizada de la evaporación en casi todos los años respecto a la media del período de referencia (de hasta 0.8 mm por día en el escenario A2 y 0.6 mm en el B2). Estacionalmente, en otoño y verano el comportamiento es muy semejante al de la escala anual, observándose una fuerte disminución de la evaporación. En primavera la disminución es menor, apareciendo tantos años con anomalías positivas (mayor evaporación que en el periodo de referencia) como negativas. En invierno se da una situación intermedia: anomalías negativas menores que en otoño y verano y aparición de algunos años con anomalías positivas (aunque no tantos como en primavera).

Todos los modelos muestran resultados muy semejantes para el variable viento (considerado a 10 metros del suelo). En general, a escala anual se observa una disminución de la velocidad del viento en todos los modelos (de hasta 0.6 m/s para la media diaria en el escenario A2 y de 0.4 m/s en el escenario B2). En cuanto a la escala estacional, destacar que las anomalías son especialmente negativas en otoño, indicando una disminución del viento mucho más fuerte que en el resto de las estaciones. Por otro lado, en invierno no se observa un claro patrón de comportamiento, obteniendo tantos años con anomalías positivas como negativas, siendo éstas bastante elevadas (llegando a superar en 1 m/s el valor medio diario del periodo de referencia tanto en el sentido positivo como negativo).

3 No existen diferencias significativas entre las distintas regiones climáticas de la CAPV, aunque el descenso de la precipitación podría resultar más evidente en la zona media y región sur que en la vertiente atlántica.

Con respecto a la radiación de onda corta incidente, a escala anual todos los modelos predicen para el periodo 2071-2100 un aumento de la radiación sobre la superficie (de hasta 20 W/m² diarios en el escenario A2 y 15 W/m² en el escenario B2). Estacionalmente, en verano el aumento es mucho mayor (hasta 40 W/m² para el escenario A2 y 35 W/m² para el escenario B2), mientras que en invierno se observa una disminución de esta radiación en la mayoría de los años (hasta 20 W/m² para el escenario A2 y 15 W/m² para el escenario B2). En otoño el comportamiento es semejante al de la escala anual, mientras que en primavera se observa un cambio intermedio entre otoño e invierno.

CAMBIOS PROYECTADOS EN EL OCÉANO: CALENTAMIENTO, ACIDIFICACIÓN Y ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR

Las proyecciones climáticas para finales del s. XXI bajo escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero indican que la costa y medio marino vasco experimentarán cambios que incluyen el calentamiento del mar de 1,5 a 2,05 °C en los primeros 100 m de profundidad y un ascenso del nivel medio del mar de entre 29 y 49 cm (Chust *et al.*, 2010). Estos cambios esperados son consistentes con el análisis de registros históricos (geológicos e instrumentales) de la costa vasca. Así, la variación de la temperatura superficial del mar observada en la costa vasca (Aquarium de Donostia-San Sebastián) en el periodo 1946-2007 indica también un calentamiento de 0,26 °C.década⁻¹ desde 1977 (Goikoetxea *et al.*, 2009), existiendo un calentamiento más marcado entre 1986 y 2005 (0.3 °C por década para el golfo de Bizkaia) y especialmente en verano (doble que en invierno) (Michel *et al.*, 2009). Por primera vez en la última década del siglo XX se han registrado en la costa vasca temperaturas del agua superficial superiores a 24 °C, alcanzando máximos históricos en el caluroso verano de 2003, con 14 días en agosto con temperatura superior a 25 °C y 7 días con temperatura superior a 26 °C (el 13 de agosto se registró el máximo de 26,5 °C).

Las observaciones del nivel del mar en el golfo de Bizkaia durante el s. XX (Chust *et al.*, 2009) son consistentes con el ascenso proyectado para finales del s. XXI (Figura 2). Específicamente, la velocidad de ascenso del nivel marino durante el siglo XX reconstruida a partir del registro sedimentario en marismas costeras es de 1,9 mm.año⁻¹, observándose una aceleración en la velocidad del ascenso marino que comienza al inicio del siglo XX en comparación con un nivel del mar relativamente estable durante los siglos precedentes (Leorri *et al.*, 2008). Este incremento de origen antropogénico en la velocidad de ascenso es el mayor de los registrados durante los últimos 7.000 años (entre 3 y 10 veces más rápido) (Leorri *et al.*, 2009a) (Figura 3). Por otra parte, el análisis de la tendencia para el mareógrafo de Santander ha proporcionado una tasa de ascenso de 2,08 mm.año⁻¹ en el periodo 1943 a 2004. Para el mareógrafo de San Juan de Luz, se ha obtenido un ascenso de 2,09 mm.año⁻¹, durante el periodo 1942-2006 (si bien muchos años no hay datos). La tasa de ascenso para el mareógrafo de Bilbao es de 2,98 mm.año⁻¹ de 1993 a 2005; esta tasa de ascenso es similar a la de Santander (2,67 mm.año⁻¹) para el mismo periodo y a las tasas obtenidas a partir de las medidas tomadas por sensores a bordo de satélites.

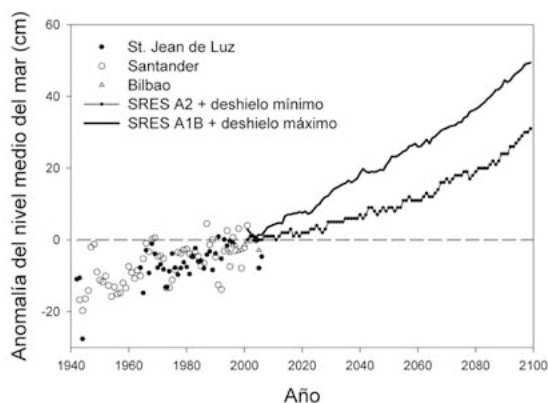


Figura 2. Variación del Nivel Medio del Mar (NMM) observado (círculos) para los mareógrafos de Santander, St. Jean de Luz y Bilbao, y niveles proyectados (líneas) para el s. XXI bajo dos escenarios climáticos del IPCC. El NMM es representado como la anomalía con respecto al NMM de Santander en 2004. El ascenso del NMM global esperado proveniente del deshielo es de 4 cm (mínimo) a 20 cm (máximo) para finales del s. XXI (Meehl *et al.* 2007). Fuente: modificado de Chust *et al.* (2009, 2010).

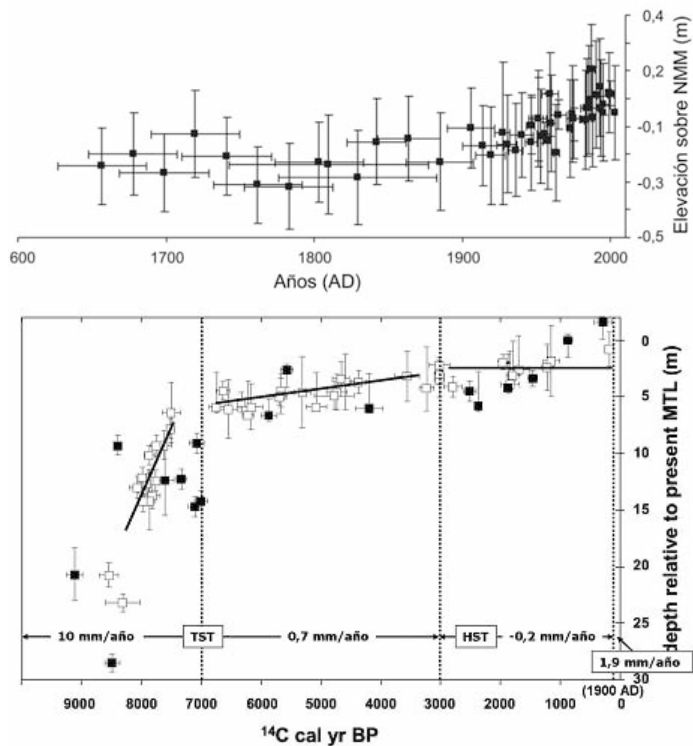


Figura 3. (arriba) Curva relativa del nivel marino obtenida a partir de la reconstrucción de las elevaciones (con sus rangos de error) en marismas de la costa vasca mediante la función de transferencia y la cronología del modelo de edad. En la horizontal se representa la edad de las diferentes muestras analizadas (años AD) y en la vertical la elevación (m) sobre el nivel mareal medio. Fuente: García-Artola *et al.* (2009); (abajo) Gráfico de los puntos indicadores del nivel marino en los estuarios vascos, mostrando las edades calibradas frente a la profundidad relativa al nivel medio de la marea actual (m). Los errores de elevación y edad también se presentan. Los cuadrados negros indican las muestras no incluidas en las estimaciones de las tendencias. Fuente: modificado de Leorri y Cearreta (2009b).

Según se ha demostrado en los últimos años, el ascenso en los niveles de CO_2 atmosférico está provocando una acidificación global de los océanos. Cuando el CO_2 se disuelve en el agua del mar, se forma el ácido carbónico. Esa reacción química provoca la acidificación del océano y es independiente de otros efectos

del cambio climático. Diversas fuentes señalan que entre 1751 y 1994 se ha producido una disminución del pH superficial del océano de alrededor de 8.179 en 1751 a 8.104 en 1994 (Fabry *et al.*, 2008). En la primera década del s. XXI se ha medido un cambio de pH que representa un aumento del 30% en la concentración de protones en los océanos. Ese incremento es 100 veces más rápido que cualquier cambio de la acidez que hayan experimentado los organismos marinos durante al menos los últimos 20 millones de años. La variabilidad interregional es de menor índole en lo que respecta a este fenómeno, excepto en lo que la acidificación pueda verse afectada localmente por descargas fluviales, por lo que para el golfo de Bizkaia la proyección para finales del s. XXI es que el agua de mar tendrá un pH próximo a 7.85 y una presión parcial de CO₂ de 700 ppm (Turley *et al.*, 2006).

REFERENCIAS

- Beniston M. and Diaz H. F. (2004). *The 2003 heat wave as an example of summers in a greenhouse climate? Observations and climate model simulations for Basel, Switzerland*. Global and Planetary Change, 44, 73-81.
- Chust G, Borja A., Caballero A., Liria P., Marcos M., Moncho R., Irigoien X., Saenz J., Hidalgo J., Valle M., Valencia V. *Climate Change on the coast and pelagic environment in the south-eastern Bay of Biscay*. *Climate Research* (In press). DOI: 10.3354/cr00914.
- Chust G., Caballero A., Marcos M., Liria P., Hernández C., Borja A. (2010). *Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87: 113-124.
- Chust G., Borja Á., Liria P., Galparsoro I., Marcos M., Caballero A., Castro R. (2009). *Human impacts overwhelm the effects of sea-level rise on Basque coastal habitats (N Spain) between 1954 and 2004*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 84:453-462.
- Fabry V.J., Seibel B.A., Feely R.A., Orr J.C. (2008). *Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes*. ICES J MAR SCI 65: 414-432.
- García-Artola A., Cearreta A., Leorri E., Irabien M.J., Blake W.H. (2009). *Las marismas costeras como archivos geológicos de las variaciones recientes en el nivel marino*. Geogaceta 47: 109-112.
- Goikoetxea N., Borja Á., Egaña J., Fontán A., González M., Valencia V. (2009). *Trends and anomalies in sea surface temperature, observed over the last 60 years, within the southeastern Bay of Biscay*. Cont Shelf Res 29: 1060-1069.
- IPCC (2000). *Informe Especial de Escenarios de Emisiones*. Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>
- IPCC TAR (2001). *Special Report on Emissions Scenarios (SRES)*. Estos escenarios también han sido utilizados en el 4AR, 2007. Existen 4 familias de escenarios (A1, A2, B1 y B2) y varios grupos de escenarios (A1F1, A1B, A1T). www.ipcc.ch

- Leorri E., Horton B.P., Cearreta A. (2008). *Development of a foraminifera-based transfer function in the Basque marshes, N Spain: implications for sea-level studies in the Bay of Biscay*. Marine Geology 251: 60-74.
- Leorri E., Cearreta A. (2009a). *Recent sea-level changes in the southern Bay of Biscay: transfer function reconstructions from salt-marshes compared with instrumental data*. Scientia Marina 73: 287-296.
- Leorri E., Cearreta A. (2009b). *Anthropocene versus Holocene relative sea-level rise rates in the southern Bay of Biscay*. Geogaceta 46: 127-130.
- Meehl *et al.* (2007). *Global Climate Projections*. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Michel S., Vandermeirsch F., Lorance P. (2009). *Evolution of upper layer temperature in the Bay of Biscay during the last 40 years*. Aquat. Living Resour. 22: 447-461.
- Schär y coautores (2004). *La función de la creciente variabilidad de temperatura en las olas de calor de verano en Europa*. Nature, 427, 332-336. Copyright, 2004.
- Turley C.P., Blackford J.C., Widdicombe S., Lowe D., Nightingale P.D., Rees A.P. (2006). *Reviewing the Impact of Increased Atmospheric CO₂ on Oceanic pH and the Marine Ecosystem*. C. Defra-08.qxd 02/11/2005 21:26.

A series of overlapping, wavy white lines of varying thicknesses, resembling a network or data flow, set against a solid red background. The lines are concentrated in the middle section of the page.

Impactos y adaptación
en los diferentes sectores y sistemas

A vertical dotted white line located in the top right corner of the page.A horizontal dotted white line located at the bottom of the page.

Impactos y adaptación

RECURSOS HÍDRICOS

En el sector de los RECURSOS HIDRICOS, los registros históricos observados y las proyecciones climáticas proporcionan un gran número de evidencias que indican que los recursos de agua dulce son vulnerables y que potencialmente sufrirán fuertes impactos debidos al cambio climático, lo cual repercutirá sobre un amplio abanico de consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas (Santa Coloma *et al.*, 2010).

En este contexto se requiere de estudios específicos sobre potenciales impactos en la CAPV y es en este contexto en el que se inician los presentes estudios con el fin de adaptar o minimizar los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, así como adaptar los sistemas de abastecimientos actuales.

Los objetivos principales de este trabajo se resumen en: detectar señales de cambio en los elementos del balance hídrico; analizar la influencia de estos cambios sobre los recursos hídricos (cambios en régimen de ríos, caudal pico y en el efecto de inundaciones), sobre los sistemas de abastecimiento y sobre el sistema de laderas; estudiar la vulnerabilidad de los abastecimientos urbanos e industriales de la CAPV ante un posible nuevo escenario hídrico; analizar los daños esperados y proponer medidas de adaptación. Los resultados preliminares en esta temática se resumen en:

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Tendencia descendente de caudales medios en invierno y primavera en los últimos 50 años.
- Tendencia creciente de los caudales máximos en invierno y primavera.
- La mayoría de los sistemas de abastecimientos presentan vulnerabilidad media-alta a cambios en aportaciones.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Los escenarios auguran una disminución en el aporte de agua en invierno y primavera (6-13%).
- En esta situación, disminuye la garantía de los sistemas de abastecimientos.
- Aumenta el caudal pico (20%) y con ello el área inundable (3%), promoviendo un aumento de pérdidas por inundación (15%) para 2050.
- Favorecimiento deslizamientos y coladas de tierra.

AUTORES

Coordinadora: Maddalen Mendizabal (Unidad de Medio Ambiente de Tecnalia).

Régimen hídrico. UPV/EHU – Departamento de Geodinámica: Iñaki Antigüedad, Ane Zabaleta, Tomas Morales, Maite Meaurio, Carlos Gorria.

Abastecimientos. UPV/EHU – Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos: Jabier Almandoz, Ruben Jimenez, Asier Arrizabalaga.

Inundaciones. Unidad de Medio Ambiente de Tecnalia: Maddalen Mendizabal, Beñat Abajo, Laura Gutierrez, Estela Ciprian. Azti-Tecnalia: Roberto Moncho. DHI España: Peter Torp.

Sistemas de laderas y fluvial. UPV/EHU – Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología: Elena Díaz Bea, Askoa Ibisate González de Matauco, Orbange Ormaetxea Arenaza, y Ana Sáenz de Olazagoitia Blanco.

En colaboración con BC3 (Basque Center for Climate Change - BC3) para la evaluación económica de daños. En base al documento *Insights on the economics of adaptation for decision making process in climate change policies: Inputs for K-Egokitzen Project*. Ibon Galarraga, Aline Chiabai, Nuria Osés (Universidad Pública de Navarra), Anil Markandya, Kaysara Khatun and Bettina Damm.

Se han analizado los cambios en el régimen hídrico a través de la aplicación de un modelo hidrológico con inputs de los escenarios climáticos A2 y B2 del IPCC para el periodo 2010-2040 (<http://www.eitb.com/infografia-multimedia/cambio-climatico/consecuencias.html>). Estos escenarios auguran un ascenso de las temperaturas, entre 1 y 3°C según la estación del año, pero muestran mucha incertidumbre respecto a la precipitación. En las aplicaciones se ha estimado un descenso del 5% de la precipitación en invierno y primavera. Los resultados obtenidos en la cuenca alta del río Nerbioi predicen una disminución del caudal medio de invierno y primavera entre 6 y 13%, respectivamente, indicando que la disminución de los recursos será más acusada que la prevista para las precipitaciones, debido al aumento de la temperatura (Figura 4). Además, la aplicación de este tipo de modelos hidrológicos ha dejado en evidencia las implicaciones que la cubierta vegetal y sus cambios tienen sobre los recursos y el régimen hídrico. Así, en el caso de la cuenca de Aixola (Deba), mayoritariamente cubierta por plantaciones de pino, la sustitución por prado aumentaría el caudal medio en invierno, 9 %, y en otoño, lo que originaría un mayor aporte de agua al embalse allí existente. Sin embargo, disminuiría de forma importante el de verano, 15 %. Pero, además, de esta simulación se concluye que el prado origina mayor variabilidad de caudales, con mayores caudales máximos y menores caudales mínimos durante todo el año.

Por otro lado, el estudio de las series históricas de caudales en la CAPV detecta una clara tendencia descendente en invierno y en primavera en los últimos 50 años, aunque es claramente ascendente en los últimos 20 años (1987-2007) (Tabla 1). En los caudales máximos la tendencia es creciente en los últimos años, en invierno en la vertiente cantábrica y en primavera en la mediterránea, invirtiendo la tendencia descendente de las series largas. En los caudales mínimos se observa una cierta tendencia al descenso en otoño y verano.

Este aumento de la variabilidad en el régimen hídrico tendrá un impacto añadido para la salud de los ecosistemas fluviales. En las entradas controladas a embalses de abastecimiento el caudal medio en los últimos años es ascendente en invierno y primavera, épocas de mayores aportes a los embalses, lo cual es positivo. Sin embargo, la disminución del caudal medio en verano y del mínimo en otoño e invierno afecta negativamente tanto a los ecosistemas como a la gestión de los embalses (por la necesidad de aumento del caudal de servidumbre para suministrar caudal de dilución).

Debido al cambio previsto en los elementos climáticos y a las características del territorio en el que vivimos, se ve necesaria la consideración de la función hidrológica del suelo y de sus formas de ocupación como herramienta de adaptación. Con el objetivo de paliar los cambios esperados en los caudales se propone integrar la función hidrológica del territorio en la evaluación de planes con incidencia territorial en la CAPV.

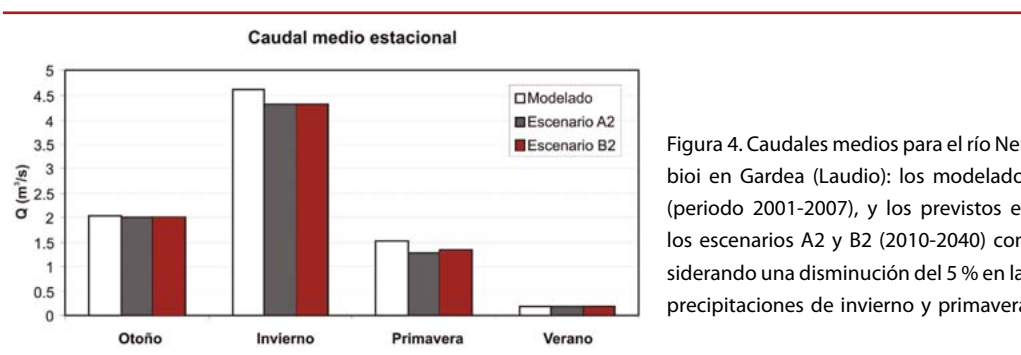


Figura 4. Caudales medios para el río Nerbioi en Gardea (Laudio): los modelados (periodo 2001-2007), y los previstos en los escenarios A2 y B2 (2010-2040) considerando una disminución del 5% en las precipitaciones de invierno y primavera.

Tabla 1. Tendencias en caudal medio, anual y estacional, en diferentes umbrales de tiempo.

	(1948)	1973	1987	1995	2007	
		←←←←←				
Anual	Descendente	<i>Descendente</i>	Improbable	Improbable		Cantábrico Oriental
Otoño	Improbable	Descendente	Improbable	Improbable		
Invierno	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>	Ascendente	Ascendente		
Primavera	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>		
Verano	Improbable	Improbable	Improbable	<i>Descendente</i>		
Anual				Improbable		Cantábrico Occidental
Otoño				Improbable		
Invierno				Ascendente		
Primavera				Ascendente		
Verano				<i>Descendente</i>		
Anual	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>	Ascendente ?	Ascendente		Mediterráneo
Otoño	Descendente	Improbable	Ascendente	Improbable		
Invierno	Descendente	Improbable	Ascendente	Ascendente		
Primavera	<i>Descendente</i>	<i>Descendente</i>	Descendente	Ascendente		
Verano	<i>Descendente</i>	Descendente	Improbable	Improbable		

Estos cambios en las aportaciones influyen directamente en la cantidad y calidad del recurso disponible. Una de las cuestiones a valorar es analizar si con los cambios esperados en las aportaciones y teniendo en cuenta la capacidad de los embalses, tenemos la garantía de los sistemas que nos abastecen. Como resultado del estudio realizado en el K-Egokitzen, se ha observado que 6 de los 10 sistemas estudiados no tienen garantizado el caudal inyectado necesario en alta: Txingudi, Arriarán, Ibiur, Barrendiola, Maroño (abastece a los municipios de la cuenca alta de Nerbioi) e Ibaizabal⁴. De estos 6 sistemas, 5 podrían dar solución al problema con estrategias relacionadas con el volumen de fugas existente, excepto el sistema de Arriarán que debería recurrir a otras estrategias como el ahorro de los usuarios, renovación de tuberías, gestión de la presión, etc. para garantizar el suministro. La figura 5 refleja diferentes volúmenes de fugas y volúmenes de perdidas aparentes (volumen consumido no medido) en abastecimientos de la CAPV que han sido utilizados para obtener las conclusiones aquí expuestas.

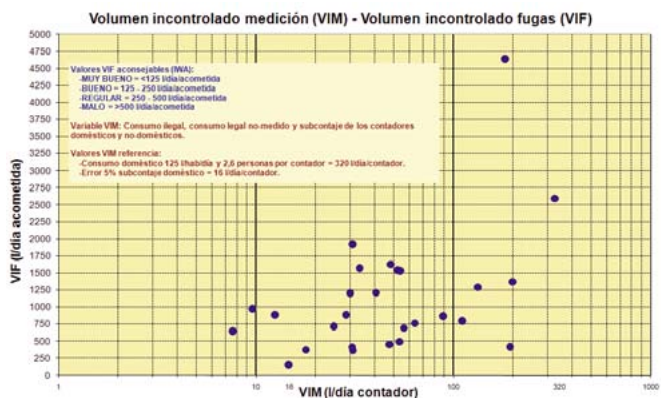


Figura 5. Comparación del origen del volumen incontrolado, no medido o fugado.

Para adaptarnos al cambio climático, debemos conocer y mejorar el estado de los abastecimientos de la CAPV. Según el estudio realizado, la mayoría de los abastecimientos analizados presentan una vulnerabilidad de media a muy alta ante cambios en las aportaciones (Figura 6).

Para minimizar el impacto esperado se proponen medidas específicas para cada tipología de abastecimiento (definidas a través de 20 variables) que pueden ser desde muy complejas, como definir un modelo matemático y gestionar la presión, hasta básicas, como asignar un responsable, definir tarificación y calcular los rendimientos:

1. Definir modelos matemáticos, Planes Integrados de Gestión de la Demanda de Agua y modelos de gestión de la presión.
- 4 según el escenario en el que se espera una reducción del recurso disponible de un 10%, un aumento de la población de un 5% y se mantiene constante el valor de la dotación.

2. Mejoras puntuales en rendimientos de red y medición, modelos matemáticos y Planes Integrados de Gestión de la Demanda de Agua.
3. Mejoras puntuales en rendimientos de red y medición, modelos matemáticos, Planes Integrados de Gestión de la Demanda de Agua y optimización del sistema de tarificación.
4. Sectorización equilibrada, con ayuda de modelos matemáticos y de gestión de la presión.
5. Mejora en las fugas, mejora en la medición, utilización de caudalímetro.
6. Generación de cartografía, datos básicos de la red, caracterización de la demanda, necesidad de Control Archivo de Fugas y mejora de la gestión de la medición.
7. Asignación de personal, tarificación y cálculo de los rendimientos.

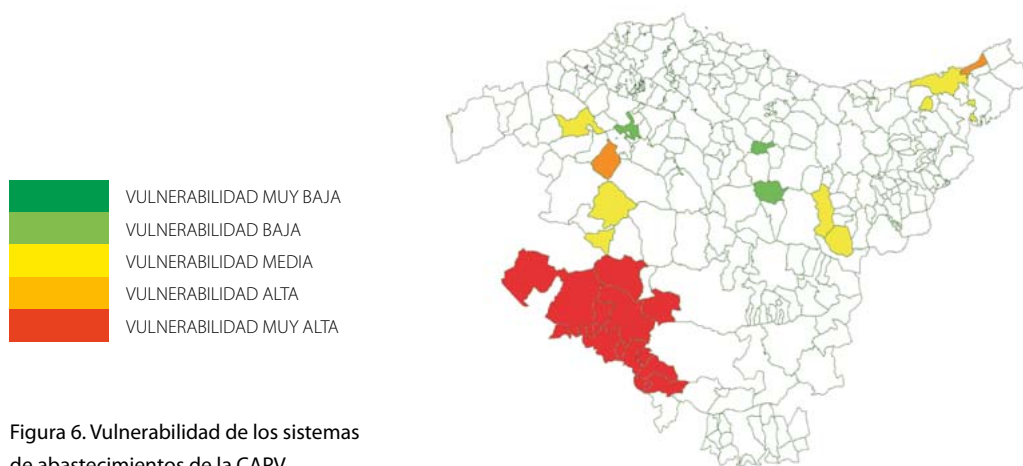


Figura 6. Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimientos de la CAPV.

Por otra parte, los análisis de carácter regional⁵ (Moncho *et al.*, 2010) de los modelos climáticos sugieren un aumento de las precipitaciones extremas del 10% (precipitación diaria), lo que conllevará un incremento de las pérdidas por inundación. Los resultados obtenidos en el estudio de la cuenca de Nerbioi (Mendizabal *et al.*, 2010) (que presenta un importante registro histórico de episodios de inundaciones), indican, por ejemplo, que las precipitaciones máximas aumentarán un 14% para el periodo 2001-2050, con una variación zonal a lo largo de la cuenca (según el modelo regional METNO forzado con el modelo global BCM, escenario A1B). El modelo hidrológico-hidráulico acoplado (MikeShe-Mike11) muestra un aumento significativo

⁵ Análisis de las simulaciones de clima regional bajo el escenario de emisiones A1B a una resolución horizontal de 25x25 km, calibrados con estaciones meteorológicas locales.

para el caudal pico con periodo de retorno de 50 años. Además, podemos observar que la respuesta de la cuenca ante los cambios en la precipitación no es lineal. La parte alta y media de la cuenca son las que mayor incremento presentan en el caudal (22 ± 2 y $20\pm 3\%$), sin embargo, la parte mas baja de la cuenca es la que menor aumento de caudal presenta (14 ± 10). Esto se debe a que la cuenca tiene sus propios procesos que hacen que el cambio no sea proporcional ni homogéneo espacialmente. Las variables que más pueden estar interviniendo en el proceso hidrológico son el tipo de vegetación (porcentaje de pasto y comunidades arbustivas presentes cuenca arriba frente al predominio de arbolado cuenca abajo) y el tipo de suelo (porcentaje de arena gruesa presente cuenca arriba frente al predominio de arena fina en el resto de la cuenca).

Debido al incremento esperado del caudal pico del río Nerbioi, el municipio de Amurrio verá aumentada la extensión del área inundable además de incidir en el grado de virulencia (incremento en la velocidad y altura de la lámina de agua en la zona inundable). Se prevé que el área inundable aumente en un 3% para un periodo de retorno de 50 años, pero puede llegar a incrementarse en un 5% para periodos de retorno de 500 años (Figura 8). Analizando los mapas de altura de la lámina de agua, se detectan unas 3 zonas de río en el que la altura de la lámina llegará a su pico máximo (para un periodo de retorno de 500 años). Se han identificado dichas zonas y sus áreas más cercanas con respecto al uso de suelo que se realiza con el objetivo de valorar el posible daño que puede causar el agua. Para ello, se han definido escenarios base y se han comparado con aquellos en los que el cambio climático existe. De esta forma ha podido aproximarse el efecto que el cambio climático tiene sobre la inundabilidad de una cuenca o parte de ella. Se han generado las curvas de Probabilidad-Daño para el escenario base y para el escenario de existencia de cambio climático (Figura 7). Los valores estimados para el río Nervión a su paso por Amurrio indican que el daño anual esperado medio por inundación aumentará cerca de un 15% debido al cambio climático, pasando de 56.097 € en el escenario base a 64.451 € en el escenario de cambio climático. Nótese que esto es tan sólo el daño anual. Para un episodio extremo la pérdida total podría ascender los 20 millones de euros.

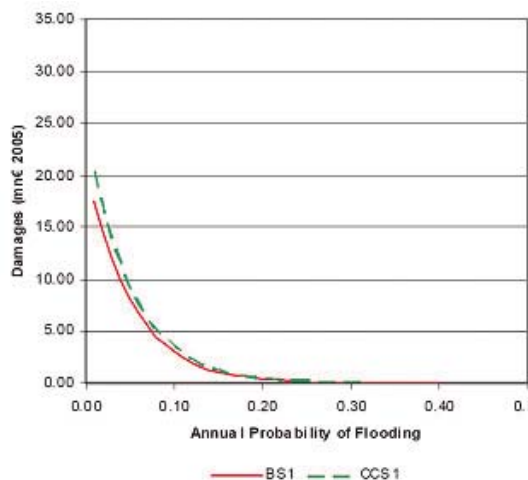


Figura 7. Curva de Probabilidad-Daño para el escenario base (BS1) y el escenario de existencia de cambio climático (CCS1) para inundaciones en Amurrio.

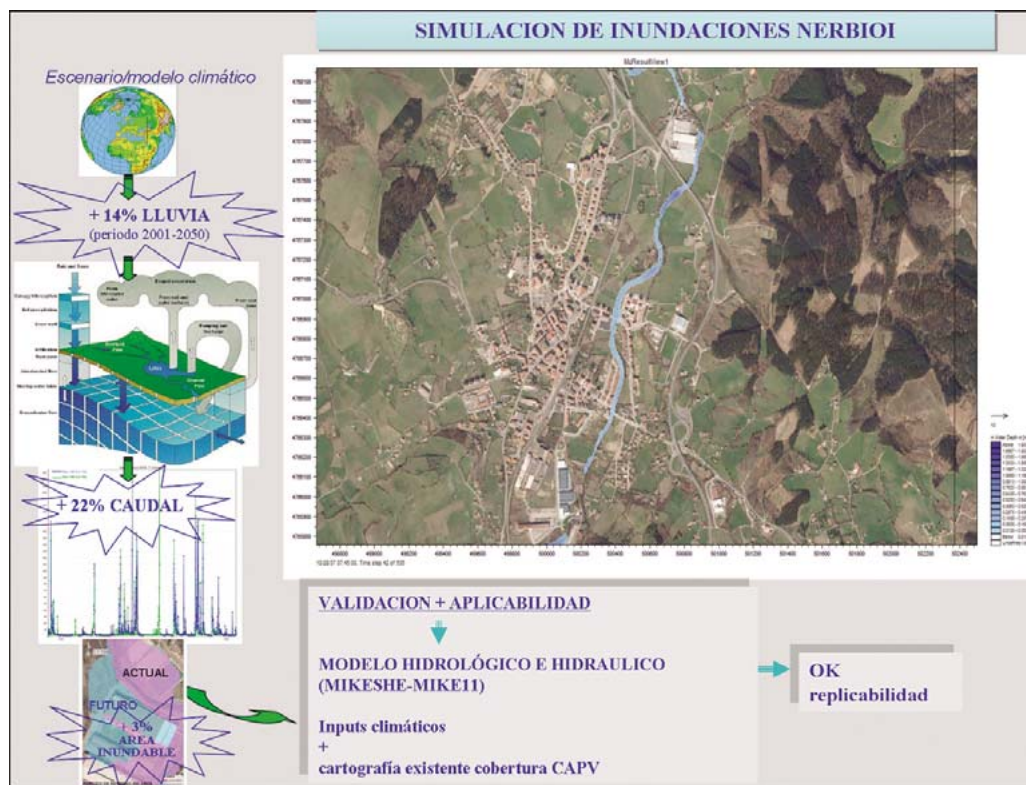


Figura 8. Validación y aplicabilidad de la metodología de análisis de impactos en caudales y en el área de inundación para el año 2050 en la cuenca alta de Nerbioi (Mendizabal *et al.*, In press).



Figura 9. Ejemplos de deslizamientos.

El aumento de las precipitaciones extremas, además de tener una incidencia en las inundaciones, se ha demostrado que afecta también al sistema de laderas (Figura 9). Los episodios tormentosos, además de alterar los caudales, favorecerán el desencadenamiento y la reactivación de algunos grandes deslizamientos y coladas de tierra, especialmente si el aumento de las precipitaciones viene acompañado de crecidas fluviales capaces de proseguir la acción erosiva en los márgenes fluviales.

Teniendo como base los mapas de peligrosidad, se proponen actuaciones a una escala urbana en la que se caracteriza el receptor del impacto y se prima la actuación con los más vulnerables (Figura 10). Para ello se identifican de entre la batería de medidas que se definen en el Catálogo de medidas genéricas de adaptación, las que conllevan una disminución de la exposición y de la sensibilidad y un aumento de la capacidad de respuesta del receptor:

1. Planificación territorial y urbana orientada a la reducción de la exposición promoviendo el «espacio para el río». Se aconseja un análisis coste-beneficio de varias alternativas: uso compatible con el efecto, evacuación de estos suelos para la prevención del riesgo, o la construcción de defensas acompañada de la implantación de restricciones de uso.
2. Inundaciones controladas en zonas concretas: para disminuir el caudal pico de avenida cuenca abajo y evitar el desbordamiento en ciertos puntos. De esta forma, se garantiza la seguridad de los bienes y las personas.
3. Reducir la capacidad de aparcamiento bajo rasante en las zonas afectadas al mínimo imprescindible. Es posible su uso para almacenamiento temporal de agua de escorrentía.
4. Estudio, dimensionamiento y planificación de redes de saneamiento adaptadas.
5. Pavimentar con materiales permeables que reduzcan la escorrentía.
6. Mejora de materiales de edificación. Fomentar las políticas de rehabilitación integral.
7. Informar, comunicar y formar a la ciudadanía para mejorar la capacidad de adaptación.



Figura 10. Cambio en la peligrosidad de inundación (periodo 2001-2050) con respecto al periodo de referencia (periodo 1951-2000).

Ante estos eventos, además de actuar a escala urbana, se propone una adaptación a escala territorial, en el que se realicen acciones para aumentar la capacidad de respuesta de la cuenca. Tomando como base los resultados del estudio sobre la incidencia de la vegetación en la generación de escorrentía y por consiguiente en el caudal, se propone el uso del arbolado para conseguir un efecto de disminución en el pico de caudal del río. Además, para la predicción de disminución de la precipitación media observamos que el prado tiene una incidencia negativa en el caudal mínimo. Por ello se recomiendan soluciones que respondan a las dis-

tintas situaciones proyectadas (disminución de caudales medios, aumento de caudales pico) a través de la definición de modelos de usos de suelo que regulen la escorrentía y el caudal. Se apuesta por un territorio mosaico de comunidades vegetales promoviendo la estructura de «parches distribuidos espacialmente» (manteniendo la biodiversidad y apostando por especies autóctonas).

Las medidas de adaptación que se proponen para los sistemas de laderas ante la amenaza de deslizamientos, proceden de la generación de cartografía de riesgo al movimiento de laderas (Figura 11), y de su utilización en los planes de ordenación del territorio. Para el sistema fluvial se proponen medidas desde la planificación del territorio, considerándose de interés la creación de reservas y territorios fluviales (ámbitos para la conservación y planificación, que coincide con la medida de adaptación para inundaciones: «espacio para el río»).

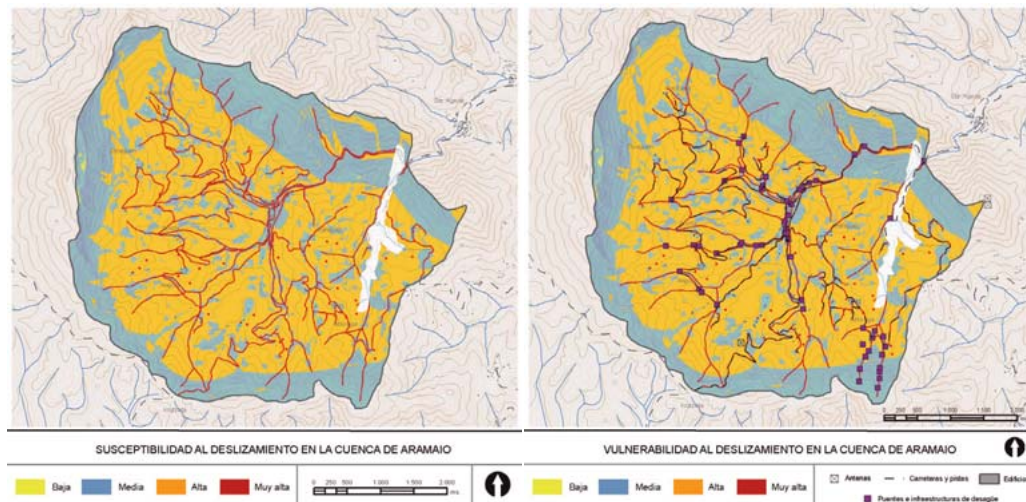


Figura 11. Mapas de susceptibilidad y mapas de vulnerabilidad (combina susceptibilidad y exposición) al movimiento de laderas (cuenca de Aramaio). Permiten reconocer las zonas que en caso de nuevos eventos de carácter intenso o abundante pueden resultar más afectadas, y por tanto son la base para poder establecer medidas adaptativas relativas a la ordenación del suelo o directrices de uso, medidas de protección, etc.

REFERENCIAS

Jiménez R. & Almandoz J. (2010). *The role of Urban Water Distribution networks in the process of sustainable urbanisation in developing countries*. WATER SUPPLY, Wukro Etiopía. Conferencia/Poster en el Congreso «IWA Young Water Professional Spain», Barcelona, Junio, 2010.

Jiménez R., Almandoz J. & Arrizabalaga A. (2010). *Roadmap of strategies to improve performance indicators of water supply networks in adaptation to climate change*. Conferencia/Poster en el Congreso «IWA Young Water Professional International», Sydney Australia, Julio, 2010.

Jiménez R., Almandoz J. & Arrizabalaga A. (2010). *Performance indicators of water supply networks in adaptation to climate change. Basque Region*. Conferencia/Poster en el Congreso «IWA Water Loss 2010», Sao Paolo Brasil, Junio, 2010.

Jiménez R., Almandoz J. & Arrizabalaga A. (2010). *Indicadores en redes de distribución en la adaptación al cambio climático*. Conferencia/Poster en el Congreso «Congreso Internacional ANQUE», Oviedo, Junio, 2010.

Meaurio M., Zabaleta A., Antiguiedad I., Boithias L., Sauvage S. & Sánchez-Pérez J.M. (2011). *Application of SWAT model to evaluate the impacts on water resources of some climatic scenarios in a catchment of the Basque Country*. 2011 International SWAT Conference & Workshops. June 15-17, 2011, Toledo, Spain.

Mendizabal M., Moncho R., Chust G., Torp P. (2010). *Modelling hydrological responses of Nerbioi River Basin to Climate Change*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-12492-1.

Mendizabal M., Moncho R., Torp P. *Assessing the impact of Climate Change on flood events in the north of Iberian Peninsula (Basque Country Region)*. Geophysical Research Abstracts (In press).

Moncho R., Chust G., Caselles V. (2010). *Regional scenarios of mean and extreme precipitation regimes in the Basque Country*. Geophysical Research Abstracts, Vol. 12, EGU2010-4407.

Santa Coloma O., Mendizabal M., Feliu E., Chust G., Pinto M., del Hierro O. & Olarreaga F. (2010). *Efectos del cambio climático en el País Vasco y estrategias de adaptación*. Congreso Nacional del Medio Ambiente, CONAMA10, Madrid. <http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/1335416321.pdf>

Zabaleta A., Uriarte J.A. & Antiguiedad I. (2010). *Streamflow response during rainfall events in a small forested catchment (Basque Country)*. Proceedings of the international workshop on status and perspectives of hydrology in small basins. IAHS publ. 336, 125-130.

MEDIO URBANO

Durante la última década se han dado grandes pasos hacia la consecución de una gestión urbana cada vez más proactiva ante escenarios de cambio climático. A pesar de estos avances, aún se necesitan enfoques más ajustados a la práctica de la planificación, que relacionen estrechamente diagnóstico y actuación, necesidad a la que se ha propuesto responder en K-Egokitzen y para lo que se ha desarrollado una metodología de evaluación de la vulnerabilidad de nuestro territorio y sus entornos urbanos al cambio climático, cuyos resultados sirven para orientar las acciones y políticas de la CAPV de adaptación al cambio climático, al identificar zonas urbanas o grupos vulnerables donde sería necesario invertir recursos (económicos, humanos...) y esfuerzos, permitiendo priorizar acciones o actuaciones en sistemas concretos.

En este apartado se presentan los resultados alcanzados al respecto. Para ello, primero se lleva a cabo el análisis de la vulnerabilidad municipal ante tres eventos extremos que pueden afectar a la CAPV, a saber, inundaciones, subida del nivel del mar y olas de calor. Seguidamente descendemos de escala y se analiza la vulnerabilidad urbana ante inundaciones y olas de calor en Amurrio (caso piloto). Los resultados anteriores constituyen el insumo para el diseño, orientación y gestión de estrategias de adaptación cuya meta princi-

pal es la reducción de la vulnerabilidad urbana al cambio climático, lo que se materializa en una serie de instrumentos de apoyo a la Gobernanza Adaptativa de la CAPV. Este apartado finaliza con un estudio sobre la importancia del diseño urbano tanto en las variables climáticas locales, como en el confort de la ciudadanía.

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Aumento de la esperanza de vida.
- Planificación y gestión urbana basada en beneficios económicos a corto plazo.
- Crisis económica (construcción).
- Aumento de las desigualdades sociales y económicas (grupos vulnerables).
- Alta sensibilidad de los medios biofísico, social y económico a inundaciones.
- Baja capacidad de respuesta urbana a inundaciones y olas de calor.
- Políticas de cambio climático muy centradas en mitigación.
- Carencia de Gobernanza Adaptativa, tanto territorial como urbana.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Sobre-envejecimiento de la población, principalmente en entornos rurales.
- Aumento de las temperaturas máximas (4-5 °C) y mínimas (3-4 °C) en las capitales de provincias a lo largo del s. XXI.
- Las olas de calor serán más largas y calurosas.
- 40 municipios de la CAPV en los que reside casi el 80% de la población posiblemente afectados por 2 o 3 de los eventos extremos climáticos.
- Aumento de la morbilidad y mortalidad por olas de calor.

AUTORES

ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y PLANIFICACIÓN URBANÍSTICA. Unidad de Medio Ambiente de Tecnalía: Karnele Herranz, Marta Olazabal, Gemma García, Beñat Abajo, Laura Gutiérrez, Maddalen Mendizabal, Efrén Feliú.

CLIMA URBANO: ISLAS DE CALOR. Unidad de Medio Ambiente de Tecnalía: Juan Angel Acero, Julia Hidalgo, Andrés Simon, Iratxe González, Jon Arrizabalaga.

Durante la última década se han dado grandes pasos hacia la consecución de una gestión urbana cada vez más proactiva ante escenarios de cambio climático. A pesar de estos avances, aún se necesitan enfoques más ajustados a la práctica de la planificación, que relacionen estrechamente diagnóstico y actuación, necesidad a la que se ha propuesto responder con la metodología desarrollada. La metodología desarrollada dentro del proyecto K-Egokitzen permite identificar zonas urbanas vulnerables o generadoras de vulnerabilidad donde sería necesario dedicar recursos (económicos, humanos...) y esfuerzos tanto municipales, como regionales y territoriales, es decir, este desarrollo nos permite priorizar acciones o actuaciones en sistemas concretos (Figura 12).

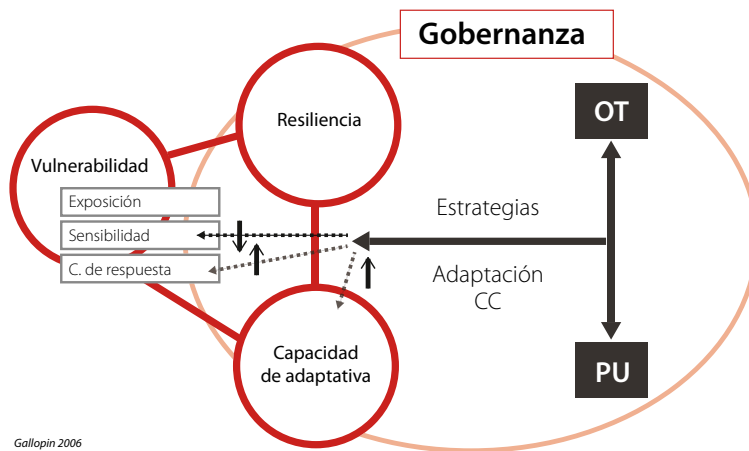


Figura 12. Planteamiento Teórico y Metodológico para el análisis de la Vulnerabilidad al cambio climático.

El análisis de vulnerabilidad municipal en la CAPV indica que hay ocho municipios, que pueden sufrir impactos de los tres eventos climáticos extremos analizados (inundaciones, islas de calor y subida del nivel del mar). Estos municipios por lo general se localizan o bien en la costa o bien en la riera (Bermeo, Bilbao, Donostia-San Sebastián, Erandio, Errenteria, Getxo, Santurtzi y Zarautz) y aunque representan solo el 3,2% de la CAPV, acogen al 35,4% de la población de la misma. A este grupo habría que añadir otros 37 municipios que pueden sufrir impactos de 2 de los 3 eventos analizados y que, por lo general, se encuentran también densamente poblados (Figura 13).

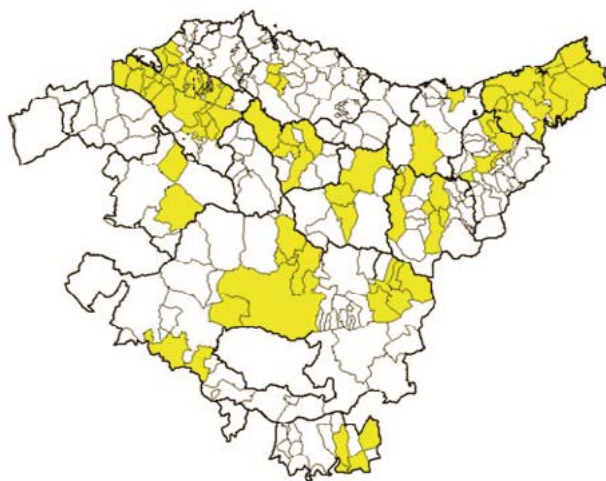


Figura 13. Análisis de Vulnerabilidad de los municipios de la CAPV.

En conjunto, podemos decir que el 77% de la población de la CAPV residen en municipios que podrían resultar impactados por 2 o 3 de los eventos climáticos extremos más probables en la CAPV.

Centrándonos en una escala más pequeña, la vulnerabilidad urbana se ha analizado en el municipio de Amurrio (caso piloto) por ser uno de los mayores municipios de la cuenca del Nervión y tener un alto compromiso social e institucional (Figura 14). En este caso se ha analizado la vulnerabilidad en relación a los dos tipos de impactos que le podrían afectar: inundaciones y olas de calor. Los resultados obtenidos para inundaciones con periodo de retorno de 500 años (correspondiendo esta a una de las peores situaciones posibles) muestran niveles muy altos de sensibilidad del medio biofísico, social y económico. Como medida de adaptación, se propone potenciar la capacidad de respuesta de estos sistemas para disminuir su vulnerabilidad:

- De las 192 hectáreas expuestas al fenómeno de inundaciones, el 79,8% del medio biofísico expuesto es sensible.
- El 14,1% de la población de Amurrio está expuesta al evento (1.427 personas), de las cuales el 28,5% son sensibles. El 2,2% del medio social expuesto es vulnerable.
- Con respecto al medio económico, en el suelo expuesto se localizan 23 actividades, en las que se encuentran empleadas 241 personas. El 83% de las actividades y el 91% de los empleos expuestos son sensibles.
- El 75% de la superficie construida expuesta es vulnerable (83,7 ha), debido principalmente a la existencia de edificios especiales (centros sanitarios, educativo...) o de patrimonio cultural. El medio construido en el municipio de Amurrio no posee una baja capacidad de respuesta ante inundaciones, por lo que la vulnerabilidad es semejante a la sensibilidad de este sistema.

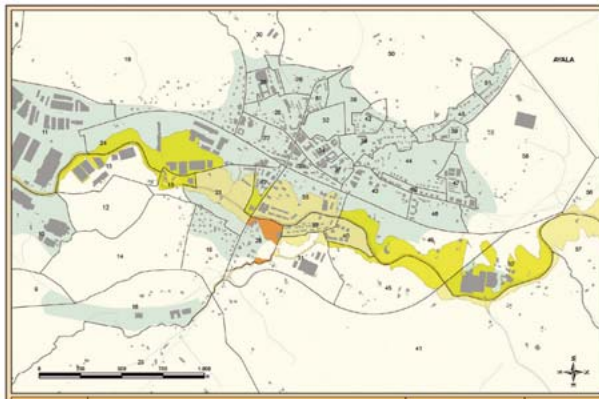


Figura 14. Ejemplo de Mapa de Riesgo por Inundaciones: Vulnerabilidad Social en el municipio de Amurrio.

Evidentemente, la metodología de evaluación de la vulnerabilidad que se ha desarrollado tiene su máxima utilidad cuando los resultados de su aplicación se utilizan para orientar, dirigir y diseñar estrategias de adaptación que conlleven una reducción de la vulnerabilidad al cambio climático, bien reduciendo la sensibilidad y/o aumentando la capacidad de respuesta de los sistemas, o bien aumentando la capacidad de adaptación, es decir, realizando Gobernanza Adaptativa.

En este sentido se han desarrollado las siguientes herramientas e instrumentos de trabajo:

1. Guía de definición de estrategias de adaptación al cambio climático desde la escala regional a la local (Figura 15). Se trata de una Hoja de Ruta para la definición de medidas de adaptación basada en una aproximación en cuatro fases: Prospectiva, Diagnóstico, Diseño de Planes de Adaptación y Definición de Líneas de Actuación. El proceso se inicia con la identificación de los sectores o municipios vulnerables de la CAPV, para a continuación evaluar su vulnerabilidad sectorial, y en base a esto definir un conjunto de alternativas de adaptación, que configura un Plan de Adaptación específico. Posteriormente, se priorizan estas medidas en función de una serie de criterios, como aplicabilidad a la CAPV, tendencias de los grupos sociales afectados a futuro, impacto medioambiental, efectividad en base a certidumbre de los impactos, análisis coste-beneficio, etc.

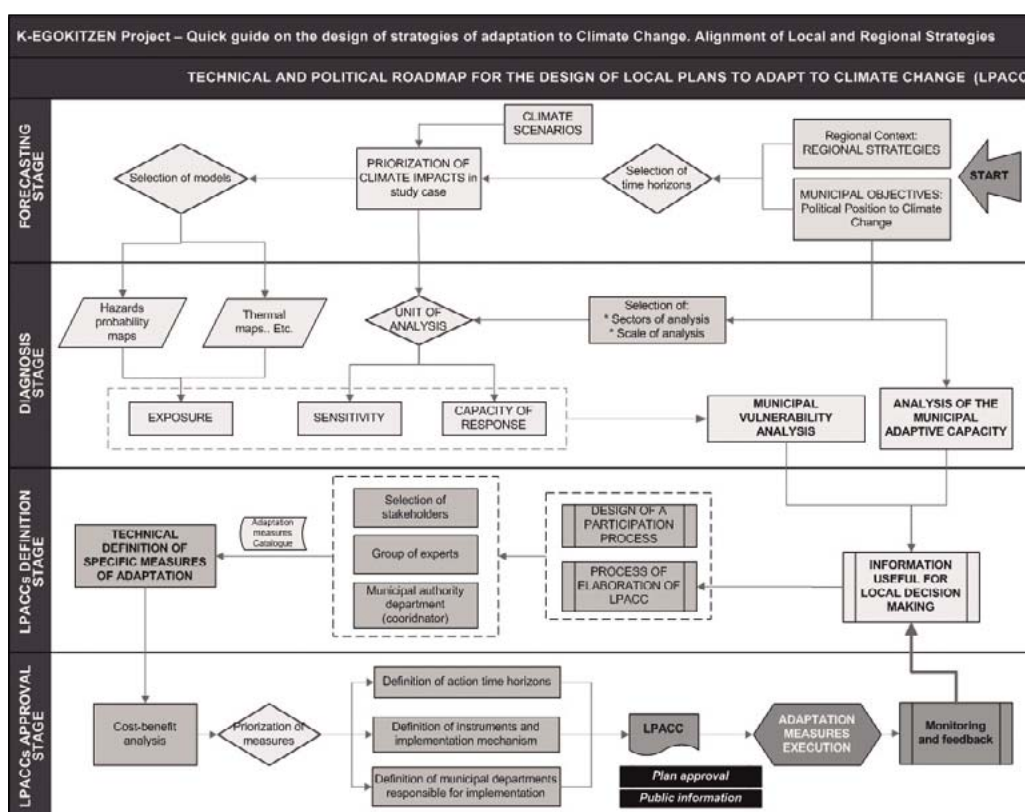


Figura 15. Guía de definición de estrategias de adaptación al cambio climático: escalas regional y local

2. Catálogo de medidas genéricas de adaptación al cambio climático en el ámbito de la planificación urbana y territorial. Constituye una guía y fuente de información destinada a autoridades públicas (locales, provinciales y regionales), donde se muestran las diferentes alternativas existentes en lo que

se refiere a medidas generales de adaptación. Constituye la base para la elaboración posterior de estudios de detalle sobre la viabilidad de la aplicación de estas medidas. La guía recoge 18 medidas de adaptación (descritas en formato ficha) que mayoritariamente se refieren a la adaptación ante eventos extremos por inundaciones, aunque algunas de ellas son también aplicables a olas e islas de calor.

3. Propuesta de medidas de adaptación específicas a un caso piloto: el municipio de Amurrio. Para el análisis de la potencialidad o el éxito de alternativas de adaptación a nivel local, se han realizado simulaciones en el municipio de Amurrio basadas en los resultados de vulnerabilidad que se han obtenido en las diferentes dimensiones: social, biofísica, económica y urbana. Los pasos a seguir en esta metodología son: 1) selección de un «driver» relevante, 2) cálculo de las variables de sensibilidad y capacidad de respuesta para ese nuevo escenario, y 3) simulación de la medida necesaria para devolver los valores de sensibilidad y/o capacidad de respuesta a su valor original o mejorarlo, con el fin de minimizar su vulnerabilidad futura.

Por ejemplo, se ha predicho para 2020 la vulnerabilidad social futura de Amurrio, basándonos en las tendencias de crecimiento de la población definidas para la CAPV, y para 2025, apoyándonos en el Escenario 7 definido por el Eustat. Los cambios en la vulnerabilidad social son principalmente debidos al (sobre) envejecimiento de la población, lo que se manifiesta más crudamente en las áreas menos pobladas y rurales de Amurrio. Por ello, se ha considerado apropiado analizar la inversión que sería necesaria para actuar en las zonas que se prevén más vulnerables socialmente a las inundaciones. Se estima oportuno actuar para aumentar la capacidad de respuesta de la población mayor, a través del fomento de las nuevas tecnologías, como es la utilización de Dispositivos de Tele-Asistencia (DTA) en el hogar. Basándonos en la estimación de costes se ha calculado las inversiones que serían necesarias para alcanzar 3 objetivos:

- Objetivo 1 -> Conseguir que la capacidad de respuesta de la población mayor con las nuevas tecnologías sea igual a (contrarreste) la sensibilidad por movilidad reducida de las personas mayores. Este objetivo implicaría instalar 231 DTA con un coste total de 1.109.505,88 €, siendo en este caso la inversión pública de 60.498,05 €.
- Objetivo 2 -> Mantener la capacidad de respuesta igual a la actual, lo que implicaría instalar 7 nuevos DTA con un coste total de 33.218,74 €, siendo la inversión pública de 1.811,32 €.
- Objetivo 3 -> Objetivo intermedio, es decir, lograr que la capacidad de respuesta con las nuevas tecnologías cubran la mitad de la sensibilidad por movilidad de las personas mayores, lo que implicaría instalar 115 nuevos DTA con un coste total de 554.752,94 €, siendo la inversión pública de 30.249,03 €.

Con respecto al segundo impacto estudiado en los núcleos urbanos, estudios preliminares sobre el cambio climático muestran una amplificación del impacto térmico en las ciudades de la CAPV. Así, se puede apreciar un aumento de las temperaturas máximas para finales de s. XXI (2071-2100) de 4 °C para la ciudad de San Sebastián y de 4,7 °C para la de Vitoria. Para dicho periodo, el número de días que superarán 35 °C se multiplica por cinco (10 días) en las tres ciudades. Se estima que estos valores son para la ciudad entre 2 y 3 veces

mayores que para las zonas rurales adyacentes. Además, se espera que los episodios de ola de calor sean más largos, así como las temperaturas implicadas más elevadas (del orden de 1,4 °C).

En cuanto a las temperaturas mínimas, se ha estimado que para finales de siglo habrá un aumento de 2,9 °C en San Sebastian y Vitoria y de 3,6 °C en Bilbao. El número de días con temperaturas inferiores a 0 °C pasa de 30 en Vitoria y 8-9 en las dos ciudades costeras en el periodo actual a 8,5 días y 1 o 2 días respectivamente a finales de siglo. La tendencia futura predicha para episodios de olas de frío es una disminución del porcentaje de ocurrencia de estos eventos, así como un aumento de su temperatura media. Los periodos de olas de frío serán además más largos.

Un análisis más exhaustivo a escala de barrio ha mostrado la importancia del diseño urbano sobre las variables climáticas locales y en consecuencia sobre la percepción y confort del peatón (índice PET). Por ello, se han analizado diferentes escenarios de diseño urbano para la mejora del clima, lo que se ha hecho en el entorno a la plaza de Indautxu (Bilbao). Este análisis conlleva una metodología específica que incluye mediciones microclimáticas y modelización numérica de alta resolución.

En cuanto a las mediciones experimentales, como era de esperar, los registros climáticos obtenidos varían de forma significativa a lo largo del día. Consecuentemente, el índice de confort térmico PET también evoluciona a lo largo del día aumentando la magnitud en aquellas zonas expuestas a la radiación solar (radiación de onda corta) y alcanzando un máximo en las horas posteriores al mediodía (15-17 horas). Asimismo, se observó el calentamiento de los elementos urbanos (radiación de onda larga) y su influencia en el confort térmico de los habitantes de los núcleos urbanos. Sin embargo, también se ha comprobado que la exposición a flujos de aire (distinta velocidad de viento) que se encauzan a través de las estructuras urbanas afecta el confort térmico del peatón. Es decir, otro factor clave en el microclima local o de barrio es su ventilación.

Aunque existen días a lo largo del año donde la sensación térmica es de incomodidad, el clima en Bilbao se caracteriza por ser húmedo y con temperaturas suaves. En cualquier caso, la percepción térmica de los habitantes de Bilbao es una característica subjetiva sobre la que influyen aspectos socio-culturales y de adaptación al clima. Del estudio de percepción del clima, realizado por medio de entrevistas y simultáneamente a las mediciones climáticas, se desprende que existe una especial sensibilidad entre la población a la humedad ambiental. Cuanta más humedad se percibe, mayor es también la percepción de temperatura y menor la de viento, lo cual se asocia también a un menor agrado con la humedad, temperatura y viento, y un mayor estrés térmico experimentado en ese día.

A raíz de los resultados obtenidos, se han analizado escenarios de diseño urbano propuestos. Dichos escenarios se han basado en las variables que influyen en el clima local: la presencia de vegetación, modificación de la cobertura urbana (propiedades de los materiales) y cambio en la morfología urbana (movimiento de aire y radiación).

Los resultados de la comparación con el escenario base (el actual diseño de Indautxu) han mostrado que una parte muy significativa de las características climáticas de la plaza pueden cambiar con pequeños cambios urbanos. Se ha observado la influencia del balance radiactivo y el efecto de la evapotranspiración de la vegetación en la temperatura del aire junto a los árboles (puede descender hasta 3 °C). Por otra parte, un pequeño cambio en el diseño urbano (eliminación de un edificio) puede aumentar el flujo de aire con el correspondiente efecto en la sensación térmica del peatón que podría pasar de incomodo por exceso de calor a confortable en mas de la mitad de la superficie de la plaza (Figura 16). Igualmente los efectos en la calidad del aire pudiendo disminuir a la mitad los niveles de concentración de contaminantes en más del 50% de la superficie.

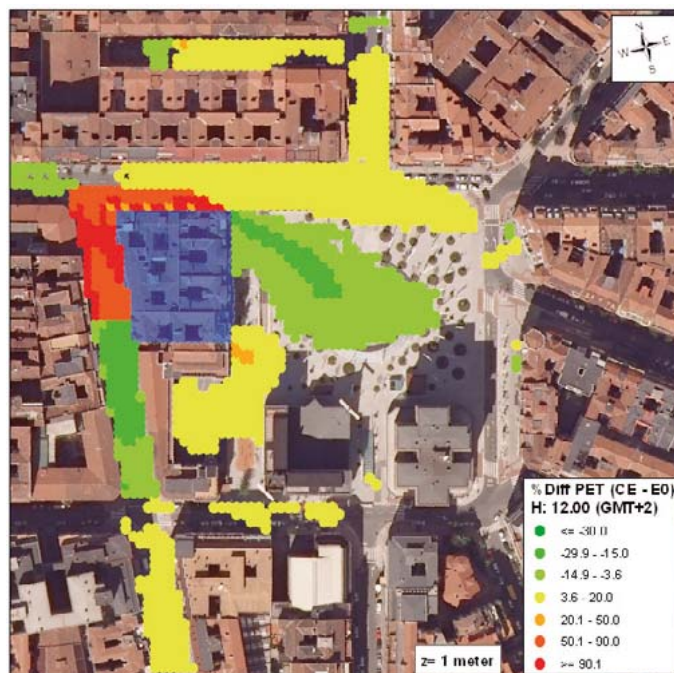


Figura 16. Efecto de la eliminación de un edificio en una plaza: Disminución de la sensación térmica en el centro de la plaza debido al aumento de la velocidad de viento, y aumento de la sensación térmica en el lado opuesto debido a la radiación solar directa.

Así pues, la experiencia del estudio de la Isla de Calor – Clima Urbano es la base para el planteamiento de medidas para la disminución de los efectos de la urbe dentro de un contexto de adaptación ante un potencial incremento de las temperaturas debido al cambio climático. Así, las posibles soluciones se plantean desde una perspectiva multiscalar, valorando el efecto del cambio climático en el conjunto del núcleo urbano, especializando su impacto según los diferentes barrios y usos del suelo y obteniendo las zonas más sensibles. Por supuesto, conocer la vulnerabilidad de las personas a través de su percepción térmica es de vital importancia para establecer medidas concretas de adaptación. En este sentido la evaluación climática a escala de barrio a través de la modelización a muy alta resolución horizontal (<5 m) permite el análisis de diferentes soluciones o escenarios a través de la planificación y diseño urbano en base a:

1. La utilización de nuevos materiales (pavimentos, cubiertas, fachadas...).
2. La introducción de vegetación (índice de sombra, evapotranspiración, adaptabilidad...).

3. La utilización del flujo de viento a escala local y la modificación de los patrones de ventilación a escala de toda la urbe (emplazamiento, orientación, forma, altura de cada edificio y disposición de ellos dentro de una barriada).

En materia de salud humana, se espera un aumento de la morbilidad y mortalidad por olas de calor e islas de calor y un aumento de los episodios agudos respiratorios, especialmente de las alergias. Estos episodios se intensificarían como consecuencia de la ampliación del periodo polínico y del número de días calurosos y secos que potencian la carga ambiental (resultando la región sur la más perjudicada), que afectarían fundamentalmente a la población sensible como la infancia, las personas mayores o personas con movilidad reducida por dependencia y/o discapacidad (para 2020 el 25% de la población superará los 65 años). Como consecuencia del aumento de la temperatura podría aumentar la concentración de ozono troposférico, especialmente durante los meses de verano, con el consiguiente empeoramiento de la calidad del aire. Esta situación se intensificaría en situaciones anticiclónicas en las que predominen altas temperaturas, escasa cobertura nubosa y poco viento, situaciones que, previsiblemente, como consecuencia del cambio climático se producirán con mayor frecuencia.

REFERENCIAS

Herranz-Pascual, K.; Feliú, E.; Olazabal, M. Virizuela, M.; Alonso, A. (2010) *Plan de Adaptación al cambio climático (PACC) de Vitoria-Gasteiz*. CONAMA 10, Congreso Nacional de medio Ambiente. Madrid, 22-26 noviembre 2010.

Olazabal M., Urzelai A., García G., Herranz-Pascual K., Abajo B., Feliu E, Santa-Coloma O., Aspuru I (2010) *Sustainable spatial management: an integrated approach*. MUNICIPAL ENGINEER, 163, 33-41.

Olazabal, M.; Herranz-Pascual, K., Feliú, F.; García, G., Abajo, B. (2010) *El análisis de la vulnerabilidad urbana como clave para la definición de estrategias de adaptación al cambio climático*. CONAMA 10, Congreso Nacional de medio Ambiente. Madrid, 22-26 noviembre 2010.

Olazabal, M.; Herranz-Pascual, K. (2011) *Urban Vulnerability to Climate Change in the Basque Country: a case of study*. Resilient Cities (ICLEI). Bonn, Germany, 3-5 June 2011.

Acero, J.A., Simon, A., Arrizabalaga, J. (2010) *Influencia de la vegetación en la calidad del aire y el clima urbano*. CONAMA10. Congreso Nacional de Medio Ambiente, ISBN: 978-84-614-6112-7, Madrid, Noviembre 2010.

Acero, J.A., Simon, A. (2010) *Influence of vegetation scenarios on the local air quality of a city square*. International Conference on Local Air Quality and its Interactions with Vegetation – CLIMAQS-project, Antwerp, (Belgium), Enero 2010.

Acero, J.A. *Modelización del impacto en la calidad del aire debido al tráfico urbano. Caso piloto en una ciudad de tamaño medio*. Congreso: Qualidade do Ambiente Urbano: novos desafios», Braganza (Portugal), Octubre 2009.

Acero, J.A., Simon, A., Padro, A. *Evaluating air quality legislation with different street canyon models: Gaussian & CFD*, 7th International Conference on Air Quality – Science and Application, Estambul (Turquía), Marzo 2009.

ZONA COSTERA

Los mayores impactos esperados por el cambio climático en el medio físico costero vasco son los derivados del ascenso del nivel medio del mar y las variaciones en el clima marino extremal (oleaje y mareas meteorológicas). La evaluación de dichos impactos ha sido estudiada en el litoral de Gipuzkoa y de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. El impacto del ascenso del nivel del mar máximo proyectado de 49 cm para finales del presente siglo ha sido estimado a partir de la generación de mapas de riesgo de inundación (Chust *et al.* 2010); el coste en bienes y servicios de las zonas que se verán afectadas ha sido valorado con el fin de proponer estrategias de adaptación.

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Retroceso de playas y marismas posiblemente como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar.
- Transformación de hábitats naturales del litoral por impacto antropogénico, especialmente urbanización (98 hectáreas transformadas en Gipuzkoa en los últimos 50 años).

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Erosión de playas en un 25% a 40%.
- Inundación de zonas urbanas.
- Avance de la cuña salina en los estuarios.
- El área total afectada en Gipuzkoa por ascenso del nivel medio del mar se estima en 110 hectáreas.
- El área total afectada en Gipuzkoa por oleaje extremo de 50 años de periodo de retorno es de 164 hectáreas.

AUTORES

Coordinador: Guillem Chust (Aztí-Tecnalia).

Riesgo de Inundación. Aztí-Tecnalia: Guillem Chust, Ángel Borja, Ainhoa Caballero, Pedro Liria, Javier Franco.

Geología litoral. UPV/EHU – Geología Litoral: Alejandro Cearreta, Eduardo Leorri, María Jesús Irabien y Ane García Artola.

En colaboración con BC3 (Basque Center for Climate Change - BC3) para la evaluación económica de daños. En base al documento *Insights on the economics of adaptation for decision making process in climate change policies: Inputs for K-Egokitzen Project*. Ibon Galarraga, Anil Markandya, Aline Chiabai, Nuria Osés (Universidad Pública de Navarra), Kaysara Khatun, Bettina Damm.

El riesgo de inundación de dicho ascenso en múltiples sectores de la costa (Figura 16) es especialmente importante en zonas llanas estuáricas (gran parte de ellas urbanizadas), véase la Tabla 2. Las zonas urbanas costeras y portuarias podrán verse afectadas en 34 hectáreas de varias localidades de Gipuzkoa, si bien en ciertos casos existen estructuras de contención que protegen las zonas potencialmente inundables. Los

acuíferos costeros, que en ocasiones sirven de abastecimiento de las poblaciones cercanas, podrían sufrir contaminación por agua salada; asimismo, podrán producirse fallos en los sistemas de drenaje y vertido de aguas de zonas costeras. En cuanto a las infraestructuras marítimas, varios puertos como el de Ondarroa, Deba y Zumaia se encuentran a una altura de menos de 30 cm sobre la pleamar máxima astronómica prevista para finales de este siglo. Por lo tanto, si se tiene en cuenta la interacción del ascenso del nivel del mar con las mareas meteorológicas en eventos extremos, estos puertos serán fácilmente rebasables.

Las playas y arenales constituyen uno de los elementos más vulnerables al ascenso del nivel del mar con retrocesos de 25% a 40% de su anchura. Según los resultados obtenidos y en base a las características generales de las playas guipuzcoanas, el retroceso de la línea de costa es más importante en playas con una mayor exposición al oleaje, un tamaño de grano menor, una pendiente más suave, una menor anchura de la playa seca, y un confinamiento (natural o artificial) de la parte alta del perfil que limite la capacidad de evolución natural de la playa. La parte central y oeste de la playa de Zarautz y la playa de Gaztetape (Getaria), serían las más afectadas (desde el punto de vista de su uso turístico) por el ascenso del nivel del mar, pudiendo perder la ya escasa superficie de arena seca que presentan actualmente en una situación de pleamar viva (y una configuración habitual del arenal). Cabe resaltar el impacto esperado sobre las playas de la Reserva de Urdaibai que puede alcanzar 47 m de retroceso en la playa de Laida. Al margen de las condiciones naturales de cada playa, el grado de urbanización tiende a aumentar los efectos perjudiciales del cambio climático en las playas.

La variación del prisma de marea en los estuarios, debido al ascenso del Nivel Medio del Mar (NMM), incidirá directamente en la morfología de éstos y provocará un avance de la cuña salina, que puede conllevar la intrusión de agua salina en acuíferos. Así, la sección de los canales y el volumen de los bajos arenosos interiores y exteriores, asociados a la desembocadura (también llamados delta de flujo y reflujo respectivamente), responderán modificando sus dimensiones en un porcentaje similar a la variación del prisma de marea y reconfigurando su posición a la nueva cota del NMM. Se producirá, por tanto, una variación del tamaño y una traslación de cotas en vertical, junto a una reconfiguración de la morfología de los estuarios. Estos cambios dependerán de las características específicas de cada estuario (volumen de sedimento disponible y contornos). El avance del límite interior de la pleamar río arriba sería de 265,2 m en promedio (de 119 a 464 m) y afectaría al ecosistema ribereño de ese tramo.

Si bien la variación del clima marino extremal (incremento de altura de ola significativa) será muy leve, y está escasamente estudiada con modelos climáticos forzados por gases de efecto invernadero, su efecto debe considerarse en los escenarios futuros por el gran impacto que tienen los eventos extremos poco probables. Así, la cota alcanzada por el oleaje en eventos extremos de 50 años de periodo de retorno afectaría 164,1 hectáreas de la costa de Gipuzkoa. El efecto del oleaje extremal queda concentrado en la línea de costa, mientras que el efecto del ascenso del nivel del mar es relativamente mayor en zonas interiores llanas de estuarios (Figura 17). El efecto del oleaje extremo es especialmente importante en la erosión de las playas y la estabilidad de las infraestructuras marítimas. Así, para un dique tipo (no real), la interacción del ascenso del nivel medio del mar y de la altura del oleaje inducidos por el cambio climático, supondrá un aumento del rebase en los principales diques exteriores de protección de la CAPV del 64% a 157%.

Tabla 2. Estimación del área afectada por el ascenso del Nivel Medio del Mar (ANMM) para 2090-2099, respecto a 2001, y oleaje extremal, en Gipuzkoa. na: *not accounted* se aplica en aquellos hábitats que no son específicos de la costa, y por lo tanto su área no queda restringida a ella, como el suelo artificial, los hábitats terrestres y las superficies de agua. En todos los casos el área calculada se refiere en el plano ortogonal, sin tener en cuenta el pendiente de la superficie.

HABITAT	Área en Gipuzkoa (hectáreas)	Pendiente (°)	Ascenso del NMM		Oleaje extremal	
			Área afectada (hectáreas)	Área afectada (%)	Área afectada (hectáreas)	Área afectada (%)
Playas de arena en costa y en estuarios	68,6	3,6	10,1	14,7	36,8	53,7
Vegetación dunar	15,3	4,1	2,3	14,9	4,5	29,6
Playas de cantos rodados	12,0	11,8	0,8	6,8	5,2	43,6
Sustrato duro (acantilados y roca supralitoral)	141,4	17,0	7,3	5,2	54,0	38,2
Humedales y marismas	60,4	5,4	3,9	6,5	0,2	0,3
Hábitats terrestres en estuarios	na	5,8	45,5	na	5,7	na
Artificial (excluyendo escolleras)	na	9,6	34,4	na	52,0	na
Escolleras	17,6	-	0,8	4,6	5,5	31,2
Superficies de agua dulce	na	-	5,7	na	0,2	na
Total			110,8		164,1	

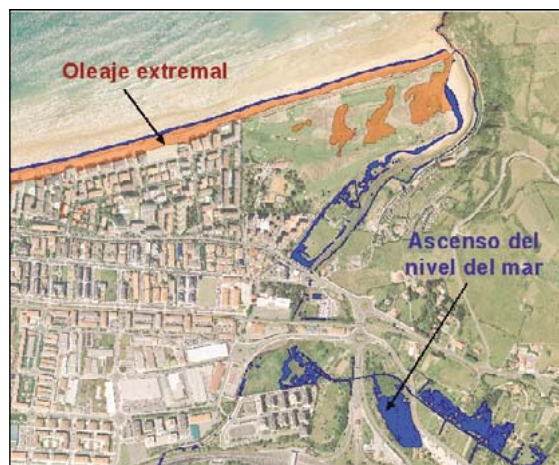


Figura 17. Mapa de riesgo de inundación esperado para un ascenso del Nivel Medio del Mar de 49 cm en 2100 (en azul) y oleaje extremal para un periodo de retorno de 50 años (en rojo), en Zarautz (Gipuzkoa).

La valoración del daño económico total que puede asociarse al ascenso permanente del nivel del mar en la costa vasca es necesaria para diseñar las estrategias de adaptación a dicho cambio. En este sentido, se han evaluado los activos naturales de los principales hábitats litorales.

Asumiendo que toda la superficie con riesgo de afección indicada en la Tabla 3 se perderá y que éste valor es aplicable al resto de la costa vasca, se ha podido estimar por lo tanto una pérdida de en torno a los 86 y

los 225 millones de euros para 2100 (a precios 2005), o lo que es equivalente, entre los 0,86 y los 2 millones de euros por hectárea (Tabla 3). Cualquier lector puede tener convicciones respecto a cómo valorar a las generaciones futuras (es decir, a aquellas que no están representadas aún ni en el mercado, ni en la sociedad, ni en el sistema político). Éstas justifican un debate en torno a las tasas de descuento a utilizar. En nuestro caso, hemos querido centrarnos en el 2% y en el 1%. En este último caso, el daño total aumenta considerablemente hasta los 201-550 millones de euros (equivalente a una cifra de en torno a los 2-5,4 millones de euros por hectárea). Estas cifras son muy altas; comparables a los rangos de valores medios del precio por m² de suelo urbano. Cuando se han utilizado los valores de restauración las cifras resultantes son significativamente inferiores, unos 1,9 millones de euros o unos 18.900 euros por hectárea. Nótese que la decisión respecto a qué valores deben ser utilizados para la política pública está el núcleo del debate ideológico respecto a la importancia que el decisor asigna a los activos ambientales y las generaciones futuras.

En base a todos estos resultados, las principales medidas de adaptación al cambio climático para el mantenimiento de las playas y su calidad que se plantean son:

1. Evitar barreras artificiales que confinan el sistema duna-playa-depósitos submarinos y en su caso desembocadura y río/estuario, para mantener el transporte sedimentario natural. Esta medida previene la pérdida de playas y depósitos de arena, que representan una protección contra la erosión costera y la adaptación a la subida del nivel del mar y a eventos extremos de oleaje. Igualmente, el sustrato móvil es hábitat de comunidades biológicas específicas y es criadero de muchas especies. Si bien las tendencias de variación del clima extremal marino (incremento de altura significativa) es despreciable, los eventos extremos del régimen actual causan recurrentemente erosión y daños que pueden mitigarse mediante el mantenimiento del transporte sedimentario original.
2. Restringir ciertos usos, especialmente la urbanización, y la extracción de arena en el marco de la celda sedimentaria completa.
3. Regenerar playas en aquellos arenales más vulnerables al ascenso del nivel medio del mar, es decir, aquellos con mayor exposición al oleaje y/o un tamaño de grano menor, pendiente más suave, menor anchura de la playa seca (mayor retroceso porcentual), y elevado confinamiento (natural o artificial) de la parte alta del perfil, lo que restringe su capacidad de evolución natural de la playa. La restauración de playas puede hacerse mediante redistribución de material dentro de la propia celda sedimentaria o bien implicar aporte de material nuevo. En este último caso, el nuevo sedimento deberá, además de cumplir las exigencias que marca la normativa, ser compatible con las características del sedimento natural de la playa. Las playas guipuzcoanas más vulnerables son la playa de Zarautz y la playa de Gaztetape (Getaria). Estas medidas evitarían la pérdida del uso turístico de las playas afectadas.
4. Revisión de la servidumbre marítimo-terrestre para anticiparse a la subida de 0,5 m del nivel del mar para toda la línea de costa vasca y sus efectos en la erosión del litoral. Teniendo en cuenta que las playas de arena supralitoral guipuzcoanas retrocederán entre 5 y 31 m, el límite interior de la servidumbre marítimo-terrestre debería retroceder una distancia similar hacia el interior en dichas zonas.

Tabla 3. Valoración del daño económico por pérdida de hábitat en toda la costa vasca.

HÁBITAT	Categoría	V/ha (1.000 €)	Área total 2004 (ha)	Área inundada proyectada 2100 (ha)	Pérdida total de bienestar (1.000 €): Coste de restauración	Pérdida total de bienestar (1.000 €): Valores de uso y no uso
Playas de arena en costa y en estuarios	Coste de restauración (limpieza de playas)	29,9	165,32	22,35	669,4	31.134-59.621
	Valor recreacional	1.152-2.063				
	Valor de uso pasivo	241-605				
Vegetación dunar	Coste de restauración (Regeneración de ecosistemas)	14,4	36,23	7,59	109,4	-
Acantilados y roca supralitorales	Coste de restauración (limpieza de zonas rocosas y acantilados)	30,9	254,75	13,15	406,9	11.883-36.542
	Valor de uso pasivo (biodiversidad y paisajístico)	904-2.779				
Humedales y marismas	Coste de restauración	60,7	178,40	11,63	705,7	1.171
	Valor económico total de bienes y servicios ambientales proporcionados por los humedales	101				
Hábitats terrestres (bosques de ribera)	Captura y almacenamiento de Carbono	1,4-4,1	61,16	45,54	-	41.870-127.845
	Valor de uso pasivo (biodiversidad y paisaje)	904-2.779				
	Recreación en zonas boscosas	2,4-10,1				
	Uso pasivo en zonas boscosas	11,9-14,1				
Área total inundada (2100)				100,26		
Pérdida económica total					1.892	86.058-225.179
Pérdida por ha					18,9	858-2.246

5. Conocer la dinámica de la celda sedimentaria completa en la que se enmarca una playa e integrar dicho conocimiento en la gestión de los diferentes elementos (dunas, playa, arenal sumergido, desembocadura, estuario, puerto). Esta gestión deberá ser en base a objetivos comunes y criterios de sostenibilidad.

Los principales criterios de planificación urbanística en zonas costeras para su adaptación al cambio climático son:

1. Revisión de la servidumbre de protección del dominio público marítimo-terrestre para anticiparse al ascenso del nivel del mar máximo previsto de 0,5 m, en toda la costa vasca. Teniendo en cuenta que la servidumbre de protección se extiende entre el límite interior de la ribera del mar y 100 metros tierra adentro, el nuevo límite deberá retroceder una distancia que va a depender de la nueva cota de pleamar máxima viva equinoccial prevista.
2. Elevación de 0,5 m de islas barrera urbanizadas en caso de que sea técnica y estratégicamente factible.
3. Reforzamiento y en su caso elevación de infraestructuras de protección frente a la erosión e inundación en zonas costeras (incluyendo estuarios). En el caso de las estructuras marítimas exteriores de protección se ha de tener en cuenta que el rebase del oleaje extremal, previsto con un periodo de retorno de 50 años, para un dique tipo aumentará en un 64-157%.
4. Evaluar las distintas estrategias de adaptación a la erosión e inundación: acomodación, retroceso y protección.
5. Incorporar en los planes de gestión que afecten a las zonas costeras los posibles impactos del cambio climático en estas zonas.
6. Una vez implementadas las medidas de adaptación, realizar un seguimiento continuo de las principales variables climáticas y de sus impactos asociados; además de evaluar si las medidas de adaptación adoptadas cumplen los objetivos para las cuales fueron diseñadas.
7. Revisión y en caso necesario modificación de los sistemas de alcantarillado, drenaje y vertido de aguas existentes. En el diseño de nuevos sistemas se ha de tener en cuenta la nueva cota de marea prevista.
8. Seguimiento de los acuíferos costeros susceptibles de sufrir salinización (p. ej.: acuífero de Gernika). Una forma de evitar la intrusión de agua marina es la no sobreexplotación del agua contenida en estos acuíferos. Además, existen técnicas de ingeniería que evitan este tipo de contaminación, como barreras físicas sub-superficiales o sistemas de bombeo.

REFERENCIAS

Chust G., Caballero A., Marcos M., Liria P., Hernández C., Borja A. (2010). *Regional scenarios of sea level rise and impacts on Basque (Bay of Biscay) coastal habitats, throughout the 21st century*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 87: 113-124.

BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS Y RECURSOS MARINOS

Se viene detectando un calentamiento de las aguas atlánticas europeas desde 1980 (Hawkins *et al.*, 2003). El medio marino al ser bastante estable en sus características físico-químicas puede ser especialmente sensible a cambios rápidos en algunas de sus variables. La temperatura es una variable clave, ya que en general las especies marinas están generalmente adaptadas a rangos muy específicos de temperatura. En la costa vasca el incremento de temperatura puede tener consecuencias más graves debido al mayor carácter meridional de su flora y fauna en relación a regiones próximas atlánticas. Por lo anterior, la costa vasca sería especialmente vulnerable ante las consecuencias del cambio climático, pudiéndose originar nuevas combinaciones de especies con interacciones futuras en parte impredecibles. También, otros factores pueden influenciar sobre las comunidades marinas tales como cambios en el régimen de radiación solar, precipitación, oleaje, corrientes, afloramientos y vientos. Adicionalmente, el posible incremento del nivel del mar afectaría parcial o totalmente a numerosos hábitats costeros y también la explotación de recursos marinos se vería afectada.

Por lo anterior, es necesario realizar una evaluación de los cambios biológicos ocurridos durante las últimas décadas (especialmente durante el periodo 1980-2010) en distintos ecosistemas costeros y pelágicos y su relación con cambios en las variables climáticas e hidrológicas. La adquisición de estos conocimientos nos permitirá predecir los impactos en escenarios futuros y diseñar las medidas de adaptación.

Los resultados preliminares en esta temática se resumen en:

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Atenuación del ciclo reproductor en diversos organismos (mejillón, ostras, peces).
- Humedales y marismas: Praderas de fanerógamas (*Zostera noltii*) escasas siendo especialmente vulnerables.
- Bentos sustrato blando: Dependencia en parte de las condiciones climáticas, especialmente del régimen de precipitaciones, y de la influencia antrópica.
- Vegetación bentónica: Cambios importantes en la vegetación submarina, con disminución de macrófitos clave (*Gelidium*), incremento de algas calcáreas, proliferación de filamentosas y foráneas.
- Fitoplancton: Disminución desde 1997 de la concentración de clorofila superficial (aunque se incrementa en profundidad). Mayor frecuencia de especies tóxicas.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Incremento de radiación solar estival de 35-40 W/m².día. Mayor penetrabilidad de la radiación solar ante la disminución de las precipitaciones, contaminación y aguas oligotrofas.
- Incremento de la temperatura de agua estival (2,1-3 °C) en estuarios. Aumento de la extensión y frecuencia de los periodos de hipoxia/anoxia en estuarios. Mayor producción fitoplanctónica causando episodios más frecuentes de eutrofización de las aguas.
- Reducción extrema del crecimiento en organismos calcáreos (mejillón, erizos, algas calcáreas) en respuesta a la acidificación. Disminución previsible del pH hasta 7,7.
- Ciertas especies desaparecerán al no no poder contemplar su ciclo vital en las nuevas condiciones climáticas

- Zooplancton: Incremento de especies termófilas y disminución de especies de aguas frías tanto en estuarios como en aguas costeras. Introducción de especies invasoras (*Acartia tonsa*) reduciendo la diversidad de las comunidades originales.
- Efectos sinérgicos entre el incremento de la temperatura del agua y la contaminación. Aumento de la tasa de bioacumulación de sustancias tóxicas y cambios en la capacidad de adaptación.
- Los efectos del cambio climático no han sido de la misma intensidad en la costa vasca, dependiendo del grado de influencia antrópica.
- Los recursos explotables (*Gelidium* y anchoa) dependen en gran medida de las condiciones climatológicas.

- Invasión por el mar de alrededor de un 6,5% de la superficie actual de humedales y marismas, destacando la reducción de las praderas de fanerógamas marinas.
- Bentos sustrato blando: Alteración en la composición y distribución de las comunidades bentónicas de sustrato blando. Introducción y expansión de especies foráneas.
- Vegetación bentónica: progresiva mediterraneización de la vegetación marina. Mayor desarrollo de especies adaptadas a aguas más cálidas y de especies foráneas introducidas. Drástica disminución de las algas calcáreas.
- Fitoplancton: la diferente distribución de la clorofila en la columna de agua tendrá repercusiones sobre otros compartimentos del ecosistema. Mayor frecuencia y extensión de las floraciones de especies tóxicas, especialmente en estuarios.
- Zooplancton: Cambios importantes en la composición de las comunidades con mayor presencia de especies foráneas y algunas de ellas de carácter invasor.
- Agudización de los efectos sinérgicos, aumentando la susceptibilidad de la biota frente a las nuevas condiciones climáticas. Adaptación de criterios de gestión medioambiental.
- La vulnerabilidad de los ecosistemas marinos dependerá del grado de influencia antrópica. Aplicación de políticas de protección.
- *Gelidium* dejará de ser un recurso explotable.

AUTORES

Coordinador: José M^a Gorostiaga (UPV/EHU).

Bentos marino. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: José M^a Gorostiaga, Isabel Díez, Nahiara Murguerza, Alberto Santolaria, Endika Quintano. UPV/EHU -Departamento de Zoología y Biología Celular Animal: José I. Saiz-Salinas, María Bustamante, Javier Tajadura. (UMA Universidad de Málaga - Departamento de Ecología): Félix López-Figueroa, María Eugenia Márquez, Cristina de Miguel.

Fitoplancton. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Emma Orive, Aitor Laza-Martinez, Sergio Seoane.

Zooplancton. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Fernando Villate, Ibon Uriarte, Arantza Iriarte, Guillermo Aravena, Lander Intxausti, Eva Ramos y Edorta del Se.

Biomarcadores marinos. UPV/EHU – Departamento de Zoología y Biología Celular Animal: Ionan Marigómez, Manu Soto, Urtzi Izagirre, Maren Ortiz-Zarragoitia, María Mugica, Larraitz Garmendia, Segolene Corby, Aitzpea Errasti, Ibon Cancio, Amaia Orbea, Eider Bilbao, Miren P. Cajaraville.

Recursos marinos. Azti-Tecnalia: Xabier Irigoien, Ángel Borja, Jose Antonio Fernandes, Marina Chifflet, Manuel González, Marta Revilla, Juan Bald, Mireia Valle, Joxe M. Garmendia, Victoriano Valencia, Almudena Fontán, Guillem Chust.

Las consecuencias ecológicas del calentamiento global en los últimos 30 años del siglo XX incluyen cambios en (a) la fenología y la fisiología de los organismos, (b) el rango y el patrón de distribución de especies, (c) la composición e interacciones dentro de las comunidades biológicas, y (d) la estructura y la dinámica de los ecosistemas (Walther *et al.*, 2002). En relación a las respuestas individuales se han detectado cambios generales en la fenología de ciertos organismos debido a la estrecha relación existente entre la fenología (sincronización de las actividades estacionales de los seres vivos) y la temperatura (factor regulador de la reproducción y crecimiento). En el caso de la costa vasca se ha encontrado una tendencia hacia la atenuación de la estacionalidad del ciclo reproductor de mejillones, ostras y peces (1988-2007). Esto puede suponer que la capacidad de adaptación frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antropogénicas (contaminación química), sea distinta dependiendo de la ventana estacional, dado que la capacidad de respuesta y la resistencia difiere según la fase de desarrollo gametogénico y el sexo (Múgica *et al.*, 2010).

En la CAPV, con el fin de evaluar y predecir el impacto ecológico esperado en las comunidades litorales, las investigaciones se han centrado en distintos ecosistemas (humedales, marismas, estuarios y costa abierta), abarcando el estudio de fanerógamas marinas, bentos rocoso y blando, fitoplancton y zooplancton.

Los estudios realizados para evaluar los impactos en humedales y marismas indican que un 6,5% de su superficie actual podría verse afectada por ascenso del nivel del mar. La respuesta de las marismas, humedales, y otras comunidades intermareales como las praderas de fanerógamas a dicho ascenso podrían tener lugar a través de la migración natural hacia el interior, aunque en muchos casos se verá impedida por barreras fijas artificiales y naturales. Las especies estuáricas que tienen un rango del nicho ecológico estrecho, asociado con aquellas variables climáticas que van a variar, y con capacidad de dispersión limitada, verían su vulnerabilidad incrementada por la interacción de los factores ambientales de cambio dado que su hábitat podría verse reducido y fragmentado. Este es el caso de la única fanerógama marina presente en la CAPV *Zostera noltii*, cuyo hábitat idóneo podría reducirse en un 40% en el estuario del Oka hacia finales del presente siglo por el ascenso del nivel del mar (Chust *et al.*, In press). Esta especie podría por lo tanto considerarse especialmente vulnerable al cambio climático, dado que se encuentra en sólo tres estuarios del País Vasco, y podría verse además afectada por la interacción del calentamiento del agua y del aire y su presumible poca conectividad genética.

La respuesta de las comunidades bentónicas de sustrato blando de la costa vasca ante variables climáticas y antropogénicas, muestra que las variables climáticas son las que más influyen en la variabilidad de las comunidades costeras (explicando un 15% de su composición específica) y, en particular, el forzamiento clave es el caudal de los ríos (por precipitaciones) (Garmendia *et al.*, 2008), en cambio, en estuarios es más importante el efecto antropogénico (Pérez *et al.*, 2009). En el caso de vegetación marina submareal se han registrado (período 1991-2009) alteraciones en la distribución de las especies de macroalgas formadoras de hábitats (*Gelidium corneum* y *Cystoseira baccata*), un incremento de especies calcáreas (*Corallina elongata*, *Jania rubens*, *Lithophyllum incrustans*) y de especies filamentosas de afinidad meridional (*Aglaothamnion tenuissimum*, *Gayliella flaccida*), así como, la introducción de especies foráneas (*Herposiphonia* sp). En general, se ha detectado un

retroceso de especies cuyo óptimo se encuentra en aguas más frías y un aumento de especies típicas de aguas más cálidas, así como un incremento general en la biodiversidad (debido a la expansión de especies de morfología sencilla de tendencia meridional). Estos cambios están relacionados con el incremento significativo de la temperatura del agua (0,26 °C por década a partir de 1980), el incremento significativo de la radiación estival (1970-2009) y probablemente una disminución en el aporte de nutrientes o un incremento del índice de penetración de la radiación solar en la columna de agua. Acorde con los escenarios climáticos previstos para finales del siglo XXI (incrementos de 1,5-2,05 °C de la temperatura del agua y de 35-40 W/m² diarios en la radiación solar estival) se esperan cambios en la vegetación marina de mucha mayor intensidad que los cambios ya registrados en el periodo 1991-2009 a lo largo de la costa vasca (Figura 18).

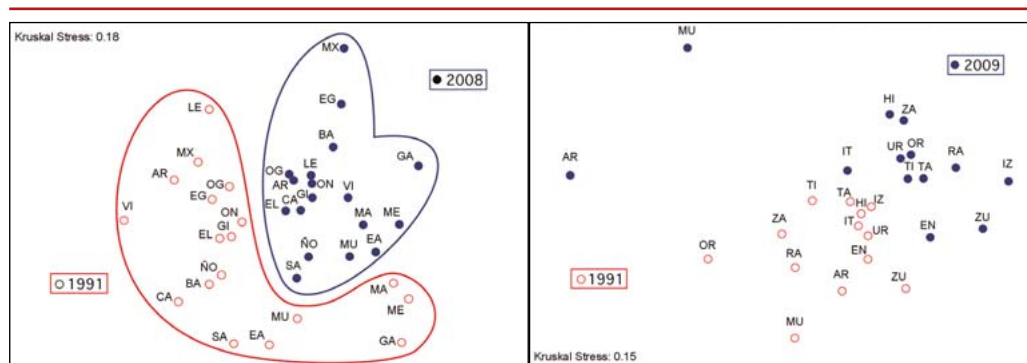


Figura 18. (izquierda) MDS: Cambios en la composición de especies en la vegetación submareal de Bizkaia (periodo 1991-2008). Localidades: MU (Muzkiz), GA (La Galea), ME (Meñakoz), MA (Matxilando), VI (Villano), AR (Arminza), LE (Lemoiz), GA (Gaviota, Bakio), SA (San Juan Gaztelugatxe), Matxitxako (Mx), Gibealeko (GI), Ogoño (ÑO), EL (Elantxobe), Ea (Ea), OG (Ogeia), CA (Santa Catalina), EG (cala Egiluz), ON (Ondarroa). Grupo de Bentos Marino (UPV/EHU). (derecha) MDS: Cambios en la composición de especies en la vegetación submareal de Gipuzkoa (periodo 1991-2009). Localidades: MU (Mutriku), EN (Pta. Endata), ZU (Zumaia), IZ (Pta. Izustarri), RA (Isla San Antón), IT (Pta. Iteiko), OR (Orio), AR (Arcometey), TI (Pta. Tierra Blanca), UR (Urgull), TA (Pta. Tambó), ZA (Pta. Zabala), HI (Cabo Higuier). Grupo de Bentos Marino (UPV/EHU).

Los trabajos sobre el ambiente y las comunidades pelágico/planctónicas de los sistemas estuáricos de la costa vasca indican una evidente sensibilidad de estos ecosistemas a forzamientos externos, tanto de naturaleza climática como de presión antropogénica. Los resultados de los Modelos de Funciones de Transferencia para los datos de las series temporales hidrometeorológicas (temperatura del aire, temperatura del agua, precipitación y descarga fluvial) en los estuarios de Bilbao y de Urdaibai evidencian una respuesta positiva concatenada entre dichas variables (Aravena *et al.*, 2009). La temperatura del agua responde de forma inmediata a las variaciones en la temperatura del aire (Figura 19) de forma que por cada grado centígrado de incremento de la temperatura del aire la temperatura del agua aumentaría entre 0,7 °C y 1 °C, siendo mayor el incremento en el estuario de Urdaibai que en el de Bilbao y en las zonas interiores (someras) que en las exteriores de ambos sistemas.

Según la relación temperatura-oxígeno disuelto (OD) obtenida de los Modelos Aditivos Generalizados, el aumento de la temperatura previsto tendrá un efecto negativo sobre la calidad del agua, aumentando la extensión y la frecuencia de los periodos de hipoxia/anoxia, principalmente en la zona interna de los estuarios (mayor aporte de nutrientes), como consecuencia del aumento del consumo de oxígeno por la actividad microbiana y de forma indirecta como consecuencia de la previsible reducción de las precipitaciones y del caudal fluvial⁶, lo que disminuirá de forma notable el aporte de agua oxigenada y la tasa de renovación de las masas de agua en estas zonas internas. Además, la sinergia de estos fenómenos se verá magnificada en la época estival. De hecho, ciertas áreas de la costa vasca ya están regularmente sometidas a condiciones de hipoxia (World Resources Institute report, 2008). En zonas salobres del estuario del Bilbao se registran concentraciones de oxígeno por debajo de 2 mg/l (normoxia: >5 mg/l), y en las marismas de Urdaibai en verano la concentración de oxígeno es a menudo inferior a 4 mg/l (Quality Status Report, 2000). En un panorama de cambio climático (Díaz & Rosenberg, 2008) los fenómenos de hipoxia serán cada vez más frecuentes. Durante los últimos 50 años, la frecuencia y extensión de las áreas afectadas por episodios de hipoxia se ha duplicado cada 10 años (Quality Status Report, 2000). De seguir esta tendencia, en 2090 la magnitud de este fenómeno, en términos de frecuencia y extensión del área afectada, sería 1.000 veces mayor que hoy en día y 30.000 veces más impactante que en 1960.

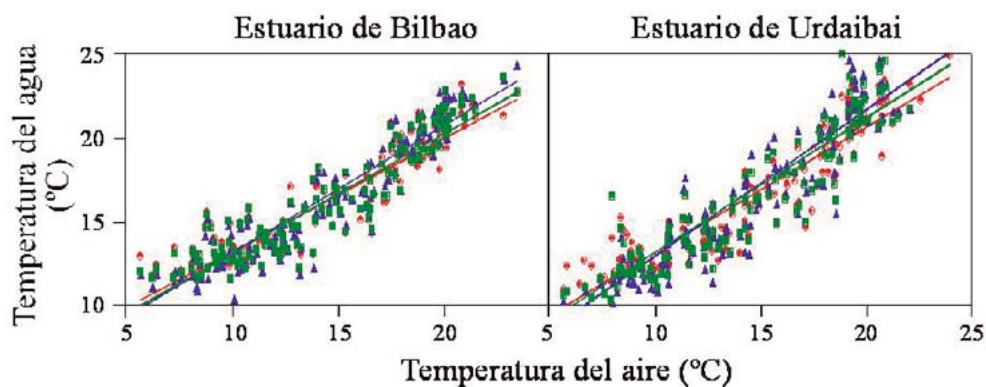


Figura 19. Relación entre la temperatura del aire y la temperatura del agua en las zonas salinas de 30 (triángulo azules), 33 (cuadrados verdes) y ≥ 34 (círculos rojos) de los estuarios de Bilbao y de Urdaibai. (Estuario de Bilbao: salinidad 30: $y=0,778x + 5,0125$; $R^2 = 0,8776$; salinidad 33: $y=0,7152x + 5,8206$; $R^2 = 0,8668$; salinidad ≥ 34 : $y=0,6754x + 6,413$; $R^2 = 0,8428$; Estuario de Urdaibai: salinidad 30: $y=0,9289x + 3,0678$; $R^2 = 0,8708$; salinidad 33: $y=0,8385x + 4,316$; $R^2 = 0,8589$; salinidad ≥ 34 : $y=0,7596x + 5,3422$; $R^2 = 0,8684$).

La investigación sobre la serie temporal de clorofila «a», como indicador de la biomasa de fitoplancton, en estuarios de la costa vasca frente a factores climáticos y antropogénicos muestra claras diferencias entre los

⁶ Ver apartado Recursos Hídricos.

estuarios de Bilbao y de Urdaibai (Villate *et al.*, 2008). Parece evidente que un calentamiento del ambiente en las zonas estuáricas ricas en nutrientes, en gran medida, de origen antrópico, tendrá un efecto potenciador del crecimiento fitoplanctónico, haciendo más recurrentes los fenómenos de eutrofización, con sus consiguientes consecuencias sobre la calidad ambiental del sistema, tal y como ya se ha comentado anteriormente al hablar del OD.

Respecto a la influencia del clima en las comunidades zooplanctónicas, el seguimiento realizado desde 1980 en las aguas neríticas y estuarios de la costa vasca ponen de manifiesto la aparición y aumento de especies termófilas y el retroceso de especies características de aguas frías. Entre estas últimas es notoria la disminución de los copépodos neríticos *Pseudocalanus elongatus* y *Temora longicornis*, mientras especies termófilas de nueva aparición y exitosa proliferación son el copépodo *T. stylifera* en las aguas neríticas y *Oithona brevicornis* y *Acartia tonsa* en los estuarios. La introducción de la especie invasora *A. tonsa* como consecuencia del aumento de la temperatura es un fenómeno ya descrito en diferentes estuarios del golfo de Bizkaia y otras áreas del Atlántico Norte. Identificada por vez primera en el estuario de Bilbao en 2001, los Modelos de Funciones de Transferencia han puesto de manifiesto que el establecimiento y desarrollo de la especie invasora *A. tonsa* ha tenido un efecto negativo en la abundancia de la especie autóctona dominante *A. clausi* en la zona intermedia-interna del estuario, pero además, han revelado que el aumento de la temperatura, junto con la disminución del OD, repercute negativamente sobre *A. clausi*, mientras que favorece a la invasora *A. tonsa*, más tolerante a condiciones eutróficas (Aravena *et al.*, 2009b). Es evidente que la introducción de especies invasoras reduce la diversidad de los ecosistemas.

El estudio de la serie temporal de clorofila, como indicador de la biomasa de fitoplancton, en la plataforma continental vasca (Revilla *et al.*, 2010) permite concluir que: 1) La variabilidad de la clorofila responde en gran medida a patrones de oscilaciones climáticas, como el índice *Eastern Atlantic* (EA). 2) Un índice positivo de EA (como ha ocurrido desde 1997) hace decrecer la clorofila en aguas superficiales, pero la incrementa en aguas más profundas. Esto puede deberse a una mayor turbulencia y hundimiento de las capas superficiales de agua, en respuesta a una circulación atmosférica del noroeste. 3) La diferente distribución de la clorofila en la columna de agua, puede tener importantes implicaciones para otros compartimientos del ecosistema. Por otro lado, los experimentos en laboratorio muestran, además, que el calentamiento del mar extendería el período y la frecuencia de floraciones de algas potencialmente nocivas en los tramos anteriores de los estuarios, y las especies tóxicas de origen marino podrán adentrarse más en los estuarios al incrementarse la salinidad.

En relación al problema de la progresiva acidificación del mar, las consecuencias principales se producirían sobre los organismos calcáreos, tanto algas calcificadas como invertebrados provistos de concha (ej. mejillón, lapa) o caparzones (ej. bellotas y erizos de mar), debido a que a pH ácidos la tasa de disolución supera la tasa de fijación de calcio. Otro problema adicional lo constituye la hipercapnia (acidificación de los fluidos corporales asociada a un aumento en la concentración de CO₂) la cual produce una afección seria al metabolismo de animales reflejado en el desarrollo larvario y embrionario, además de suponer un coste energético que daña gravemente el crecimiento, la reproducción y el sistema inmune de los organismos. El

estudio de una serie temporal (2003-2010) de datos biométricos de poblaciones de mejillón (desde Portugal a la costa vasca) refleja indicios de alteraciones severas del patrón de crecimiento, e incluso casos de enanismo (Figura 20) que podrían relacionarse, como hipótesis, con la hipercapnia (Múgica *et al.*, 2010). Ello tendría repercusiones sobre el ecosistema costero (alteración de la biomasa y de las relaciones tróficas), los recursos marinos (disminución de la producción) y la gestión medioambiental y sanitaria (modificación de valores de fondo y críticos en parámetros de calidad ambiental y de bioacumulación de contaminantes y tóxicos). Los mejillones, dada su condición de centinelas del ecosistema costero, nos alertarían sobre la existencia de una afección generalizada en la fauna marina.

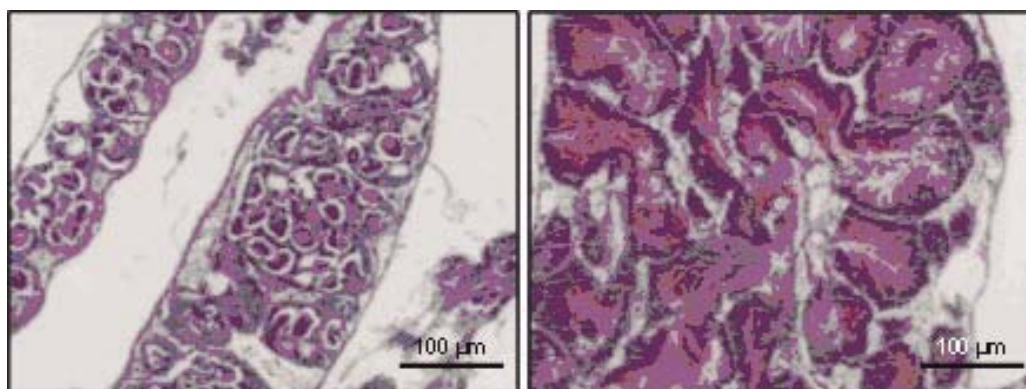


Figura 20. Gónadas maduras (izda: hembra; dcha: macho) de mejillones de al menos 2 años de edad recogidos en Mundaka en 2007 y de menos de 1 cm de longitud de concha. Esto podría interpretarse como casos de precocidad o de enanismo asociados a factores climatológicos o como casos de disrupción endocrina.

Diversas algas rojas calcáreas de la costa vasca (*Corallina elongata*, *Jania rubens*, *Lithophyllum incrustans*), potencialmente muy sensibles a los efectos de la acidificación, han experimentado durante el periodo 1991-2009 un incremento significativo en su abundancia en la zona submareal. Su mayor desarrollo está relacionado con el incremento de la temperatura del agua y un incremento en la disponibilidad de luz (incremento de la radiación solar estival y probablemente un incremento de la transparencia de las aguas). En la actualidad los valores de pH de las aguas de la costa vasca (8,3-8,4) se encuentran alejados de aquellos valores que inhiben la calcificación, aunque para el escenario de finales del siglo XXI no puede excluirse que la tasa de disolución exceda a la de calcificación y en consecuencia el declive de las algas calcáreas. Se considera que para finales del siglo XXI el pH en el golfo de Bizkaia será próximo a 7.7 con una reducción para el 2100 del 54% del ión carbonato (CO_3^{2-}) disponible (Raven *et al.* 2005).

La contaminación de las aguas costeras podrá actuar de forma sinérgica con el cambio climático (generador de cambios en parámetros físico-químicos y ambientales) causando un mayor nivel de estrés en los sistemas

biológicos al quedar reducida tanto la resiliencia como la capacidad de adaptación de estos (Marigomez, 2010). La temperatura modifica la química de los contaminantes ambientales y la tasa de bioacumulación de los mismos, lo que produce alteraciones significativas en su toxicidad. En organismos marinos, los límites superiores de tolerancia de temperatura se reducen en presencia de contaminantes químicos y, viceversa, aquellos sometidos a estrés por contaminación química son más sensibles a las subidas de temperatura (Sokolova & Lanning, 2008). En consecuencia, la presencia de contaminantes condicionaría la capacidad de los organismos ectotermos para responder a una mayor frecuencia de temperaturas extremas (olas de calor) previsible en un escenario de cambio climático. En la costa vasca, se han registrado en la primera década del siglo XXI alteraciones de ciertos biomarcadores celulares (ej. desestabilización de la membrana lisosómica) en las poblaciones de *Mytilus* (mejillón) lo cual refleja una respuesta a un incremento de estrés ambiental generalizado. Mediante experimentación en el laboratorio con mejillones, se han demostrado efectos relevantes del cambio en el régimen de temperaturas sobre la bioacumulación y toxicidad de compuestos químicos contaminantes y viceversa. La adaptación de los mejillones al incremento gradual de temperatura (8 °C en 1 semana) ha sido alto, pero sin embargo cuando se llega al umbral de 28 °C se produce una severa afección. Sorprendentemente, los mejillones procedentes de poblaciones sujetas a un mayor estrés ambiental (contaminación) han sido los más resistentes a una subida gradual de la temperatura (independientemente de la época del año).

En la CAPV aquellas áreas costeras y estuáricas cuyas aguas muestran un estado ecológico desfavorable como resultado de la presión antropogénica responderán de forma diferente a las áreas libres de contaminación en futuros escenarios climáticos. Se ha detectado que la introducción y expansión de especies foráneas (macrófitos, fitoplancton, zooplancton, invertebrados) es mayor en áreas de la costa vasca con una mayor incidencia de la contaminación.

En el estudio de la sensibilidad de los recursos marinos al clima se han considerado dos especies: (1) el alga *Gelidium corneum*, como ejemplo de un recurso bentónico explotado, del que se extrae el agar, y (2) la anchoa, como recurso pesquero pelágico.

El estudio del alga *Gelidium* ha mostrado que el 70% de la variabilidad en su biomasa está explicada por cambios físicos relacionados con la climatología. El modelo Vensim® ha sido utilizado para simular el efecto de los cambios en la temperatura (incremento de 1,5 o 2 °C) y/o en la irradiancia (disminución de 10, 20 y 30%) sobre la biomasa de las poblaciones del alga *Gelidium corneum* en el submareal. La variación que se encontró no fue muy importante, aunque los cambios fueron significativos (p: 0,0005). Además, el incremento de temperatura se vería compensado por la caída en la irradiancia, por lo que a 4 m no se esperan grandes cambios, aunque sí a 8 m.

En lo referente a la influencia del clima sobre la anchoa (Borja *et al.*, 2008), se ha mostrado que el 60% de la variabilidad en el reclutamiento de la anchoa está relacionado con el índice EA que se traducen localmente por cambios en la dirección de los vientos e intensidad del afloramiento de las Landas. Un estudio más re-

ciente ha determinado además que las condiciones climáticas tienen mayor capacidad predictiva sobre el reclutamiento de la población que el mismo tamaño de la población de la anchoa (Fernandes *et al.*, 2010). La población de anchoa, al ser local y con una conectividad reducida, se muestra sensible a estos cambios.

Los principales criterios de conservación de la biodiversidad, ecosistemas y recursos marinos y estuáricos para la adaptación al cambio climático son:

1. Crear una serie de reservas marinas y estuáricas protegidas que representen todos los ecosistemas de la costa vasca y medio marino, estableciendo cierta conectividad entre ellas. Estas reservas se deben basar en la funcionalidad de los ecosistemas, procurando un mantenimiento de las actividades reproductivas, de criadero, alimentación y descanso. Esto hará que todos los niveles de la red trófica estén representados y los ecosistemas sean más saludables.
2. Restaurar las zonas degradadas, aumentando la resiliencia de los ecosistemas y especies explotadas y su capacidad de adaptación natural a los cambios. Esto es especialmente importante en la franja costera (zonas arenosas y dunares) y estuarios (fangales, marismas, zonas húmedas), devolviendo al mar terrenos ganados anteriormente para agricultura u otras actividades.
3. La gestión de la conservación debe ser dinámica y adaptativa, no estática y rígida.
4. Favorecer la implantación de especies bentónicas formadoras de hábitats mejor adaptadas a las nuevas condiciones climáticas para evitar la perdurabilidad en el tiempo de nichos ecológicos empobrecidos, como consecuencia de la desaparición de especies clave de los hábitats originales.
5. Incidir en la gestión de las especies invasoras, mediante la regulación estricta y el control de las aguas de sentina y el combate de aquellas especies que causen daños ecológicos y económicos a los ecosistemas.
6. Luchar contra la contaminación, que representa una amenaza para la biodiversidad, procurando que las masas de agua alcancen un buen estado ecológico, lo que supondrá una mayor resiliencia de los ecosistemas y recursos explotables ante el cambio climático.
7. Preservar los hábitats de las especies vulnerables.
8. Favorecer la conectividad de todos los hábitats de interés comunitario, especialmente aquellos más fragmentados, como marismas y humedales.
9. Incrementar nuestros conocimientos sobre las respuestas biológicas de especies clave (tanto a nivel celular – biomarcadores-, como individuos y poblaciones) especialmente sensibles al cambio climático así como sobre las respuestas de comunidades biológicas de especial interés (importancia en el ecosistema costero, alta vulnerabilidad) ante diversos factores de estrés causados por cambios hidrológicos y climáticos así como aquellas respuestas sinérgicas derivadas de la presencia de contaminación en las aguas. Ello supondría una reducción de la incertidumbre en las decisiones y, en consecuencia, conduciría a políticas ambientales menos costosas y procedimientos regulatorios y administrativos

más coherentes. Implementar un programa de seguimiento que permita cuantificar los cambios de los diferentes sistemas biológicos (bentos, plancton, necton) a diferentes escalas: individuos (nivel molecular y celular), poblaciones y comunidades.

10. Revisar y adaptar los criterios de gestión e intervención de la legislación vigente para la protección y uso de los ecosistemas y recursos litorales, especialmente en lo que se refiere a los cambios previstos en la susceptibilidad de la biota frente a las nuevas condiciones climáticas.
11. Revisar y adaptar los criterios de gestión medioambiental (Directiva Marco del Agua, Estrategia Marina Europea), de autorización de sustancias químicas (REACH –*Registration, Education, Authorisation and Restriction of Chemicals*– y CLP –*Classification, Labelling and Packing of chemical substances and mixtures*–) y sanitaria (bioacumulación de contaminantes y tóxicos en especies de consumo).

REFERENCIAS

Aravena G., Villate F., Uriarte A., Uriarte I., Ibañez B. (2009). *Influence of the North Atlantic Oscillation (NAO) on climatic factors and estuarine water temperature on the Basque coast (Bay of Biscay)*: Comparative analysis of three seasonal NAO indices. *Continental Shelf Research*, 29: 750-758.

Aravena G., Villate F., Uriarte I., Iriarte A., Ibañez B. (2009b). *Response of Acartia populations to environmental variability and effects of invasive congeners in the estuary of Bilbao, Bay of Biscay*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 83: 621-628.

Borja A., Fontán A., Sáenz J., Valencia V. (2008). *Climate, oceanography, and recruitment: the case of the Bay of Biscay anchovy*. *Fisheries Oceanography* 17:477-493.

Chust G., Borja A., Caballero A., Liria P., Marcos M., Moncho R., Irigoien X., Saenz J., Hidalgo J., Valle M., Valencia V. *Climate Change on the coast and pelagic environment in the south-eastern Bay of Biscay*. *Climate Research* (In press). DOI:10.3354/cr00914.

Diaz R.J., Rosenberg R. (2008). *Spreading Dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems*. *Science* 321: 926-929.

Fernandes J.A., Irigoien X., Goikoetxea N., X. Lozano J.A., Inza I., Pérez A., Bode A. (2010). *Fish recruitment prediction, using robust supervised classification methods*. *Ecological Modelling*, 221: 338-352.

Garmendia M., Borja A., Muxika I. (2008). *Long-term environmental, climatic and anthropogenic factors affecting subtidal soft-bottom benthic communities, within the Basque coast*. *Rev Invest Mar* 2:1-28.

Hawkins S.J., Southward A.J., Genner M.J. 2003. *Detection of environmental change in a marine ecosystem- evidence from the western English Channel*. *Science of the Total Environment* 319: 245-256.

Iriarte A., Aravena G., Villate F., Uriarte I., Ibañez B., Llope M., Stenseth N.Chr (2010). *Contribution of temperature, river discharge and chlorophyll a to dissolved oxygen variability at different salinity sites in contrasting estuaries of the Bay of Biscay*. *Marine Ecology Progress Series*, 418: 57-71.

Marigomez I. (2010). *Marine ecosystem health assessment in response to global stressors: multiple stress diagnosis requires multiple endpoint symptoms – case studies from temperate regions*. Ponencia invitada: Global Stressors: climate changes, invasive species, and chemicals– special session (Chairpersons: Menzie, C.; Guilhermino, L.; Roembke, J.; Wenning, R.J) SETAC. Europe 19th Annual Meeting, Mayo 2010, Seville.

Múgica M., Izagirre U., Ortiz-Zarragoitia M., Marigómez I. (2010). *Biological effects of increasing temperatures in mussels at different stages of their reproductive cycle*. 27th ESCPB Congress: «Biological effects of climatic changes and pollution: from biomarkers to system biology», Alessandria.

Pérez L., Borja Á., Rodríguez G., Muxika I. (2009). *Long-term environmental, anthropogenic and climatic factors explaining spatial and temporal distribution of soft-bottom benthic communities within the Basque estuaries*. Revista de Investigación Marina, 14: 22 pp.

Quality Status Report (2000). Region IV – Bay of Biscay and Iberian coast. OSPAR Commission. London 2000. Raven *et al.* 2005.

Raven J., Caldeira K., Elderfield H., Hoegh-Guldberg O., Liss P., Riebesell U., Shepherd J., Turley C., Watson A. (2005). *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. Policy document 12/05. The Royal Society, London.

Revilla M., Borja A., Fontán A., Franco J., González M., Valencia V. (2010). *A twodecade record of surface chlorophyll «a» and temperature in offshore waters of the Basque country (southeastern Bay of Biscay)*. Revista de Investigación Marina, 17(2): 13-20.

Rodríguez Ortiz, M.P. (2010). *Ensayo de captación de rojo neutro en celomocitos de Eisenia fetida para la evaluación toxicológica de suelos estándar con diferentes proporciones de materia orgánica contaminados con cadmio*. Tesis de Master. Dir. Ionan Marigómez & M. Soto. Prog. Contaminación y Toxicología Ambientales, MDC MEC, UPV/EHU.

Sokolova I.N., Lannig G. (2008). *Interactive effects of metal pollution and temperature on metabolism in aquatic ectotherms: implications of global climate change*. CLIMATE RES 37: 181–201.

Walther G.-R., Post E., Convey P., Menzel A., Parmesan C., Beebee T.J.C., Fromentin J.M., Hoegh-Guldberg O., Bairlein F. (2002). *Ecological responses to recent climate change*. Nature 416: 389-395.

Villate F., Aravena G., Iriarte A., Uriarte I (2008). *Axial variability in the relationship of chlorophyll a with climatic and the North Atlantic Oscillation in a Basque coast estuary, Bay of Biscay (1997-2006)*. Journal of Plankton Research, 30: 1041-1049.

World Resources Institute report (2008). www.wri.org/project/water-quality

BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS TERRESTRES Y RECURSOS EDÁFICOS

En relación a la Biodiversidad, Ecosistemas Terrestres y Recursos Edáficos, en K-Egokitzen-I se ha estudiado la relación entre diversas variables climáticas y la abundancia y distribución de las especies alóctonas en la CAPV, identificándose los hábitats y áreas del territorio más afectadas por la invasión de especies alóctonas. Asimismo, se han evaluado la vulnerabilidad de los ecosistemas riparios de la CAPV a la invasión por especies alóctonas y las respuestas a las variaciones ambientales de especies alóctonas invasoras en humedales (estudio de *Baccharis halimifolia* en las marismas de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai).

Se ha analizado la influencia del cambio climático sobre las poblaciones de las especies fúngicas a partir de los cambios observados en el periodo de fructificación y a partir del comportamiento de la especie alóctona *Clathrus archeri*.

Por otro lado, y dado que la temperatura y la precipitación inciden directamente en los procesos edáficos, se ha estudiado cómo se verán afectados por el cambio climático algunos de dichos procesos, como son la descomposición de la materia orgánica, la salinización y la erosión potencial del suelo, así como la pérdida de la biodiversidad del suelo. En este sentido, y con el fin de evaluar y predecir el impacto en las comunidades edáficas, se han estudiado diferentes grupos de organismos modelo (ácaros oribátidos, hongos, lombrices y limacos) como indicadores sensibles a los cambios en la temperatura y disponibilidad hídrica del suelo, y como modelos experimentales para el estudio de las interacciones entre cambio climático y contaminación.

Los resultados preliminares en esta temática se resumen en:

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- La riqueza de especies alóctonas casuales es mayor en hábitats antrópicos pero el impacto de las invasoras transformadoras es mayor en ecosistemas riparios y litorales. La comarca del Gran Bilbao es la que presenta un mayor nivel de invasión.
- El grado de invasión en los ecosistemas riparios aumenta con la degradación ecológica y es mayor en los de la vertiente cantábrica que en los de la vertiente mediterránea.
- El análisis de la micocenosis revela la existencia de un cambio en la composición de la comunidad fúngica a partir del año 2000.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Un aumento de las temperaturas invernales favorecería el establecimiento de nuevas especies alóctonas originarias de regiones cálidas; una disminución de las precipitaciones estivales (sequía estival) dificultaría su establecimiento pero podría favorecer a especies de origen mediterráneo.
- En ecosistemas estuáricos la capacidad invasora de la especie alóctona de mayor impacto, *Baccharis halimifolia*, disminuye al aumentar el grado de salinidad y encharcamiento y podría estar condicionada en el futuro por un cambio en la cuantía y distribución de las precipitaciones.

- Se ha observado en el conjunto de las especies fúngicas más frecuentes un claro retraso (hasta 60 días) en el final del periodo de fructificación durante la última década. Se observa correspondencia entre la temperatura media anual y la amplitud del periodo de fructificación.
- Se han obtenido indicios preliminares de desplazamientos del ciclo reproductor de limacos en las últimas décadas.

- El análisis del grado de invasión de los ecosistemas riparios muestra que existe una correlación negativa entre el índice de invasión y la continentalidad y positiva entre éste y la termicidad, aunque aumenta con la degradación del estado ecológico y/o el aumento de la presión humana.
- Se prevé un aumento de la extensión del ombrotipo seco y subhúmedo junto con una disminución de las áreas con ombrotipo húmedo e hiperhúmedo, lo que limitaría la extensión de algunas especies invasoras y favorecería a otras.
- Se producirán cambios en el periodo de fructificación de las especies fúngicas de los ecosistemas dunares del territorio, así como un retroceso en la distribución actual de la especie fúngica alóctona *C. archeri*.
- El aumento de la descomposición de la materia orgánica debida a un calentamiento del suelo puede retroalimentar el propio cambio climático.
- Aumentará la salinización del suelo como consecuencia de las mayores tasas de evapotranspiración.
- Cambio en el régimen de precipitaciones podría aumentar la erosión potencial de los suelos.
- Se prevén cambios en la susceptibilidad de la biota frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antrópicas (contaminación química).
- La acidificación y la disminución del contenido en materia orgánica del suelo puede suponer una menor acumulación pero, paradójicamente, una mayor toxicidad de los metales en los organismos edáficos.

AUTORES

Coordinadores: Miriam Pinto y Oscar del Hierro (Neiker-Tecnalia).

Flora y vegetación. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Javier Loidi, Gonzalo García-Baquero, Nere Amaia Laskurain, Jesús Julio Camarero, Arben Alla, Arantza Aldezabal, Estefanía Pérez, Ana Etxeberria, Juan Antonio Campos, Mercedes Herrera, Lidia Caño, Idoia Biurrun, Itziar García-Mijangos, Isabel Salcedo, Rafael Picón, Ibai Olariaga, Nerea Abrego, Estibaliz Sarrionandia.

Fauna continental. UPV/EHU – Departamento de Zoología y Biología Celular Animal: J. Carlos Iturrondobeitia Bilbao, Iñaki Balanzategui Guijarro, Elena Corral Hernández.

Paisaje vegetal. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Miren Onaindia, Gloria Rodríguez-Loinaz, Ibone Amezaga, Lorena Peña.

Biomarcadores terrestres. UPV/EHU – Departamento de Zoología y Biología Celular Animal: Ionan Marigómez, Manu Soto, Beñat Zaldibar, Vega Asensio, Amaia Irizar, Ane M. Castilla, Eduardo Angulo.

Ordenación, modelos espaciales. Neiker-Tecnalia: Oscar del Hierro, Miriam Pinto, Nahia Gartzia, Ana Aizpurua, Carla Salinas, Amaia Ortiz, Sonia Castañon, Gorka Landeras, Eugenia Iturrutxa, J. Antonio González, Olatz Unamunzaga, Roberto Pérez, Carlos Garbisu, Isabel Albizu, Pilar Merino, Lur Epelde, Sorkunde Mendarte, Susana Virgel, Paloma Moncalean, Pablo González, Ander González, Maialen Iturbide.

Con el cambio climático, las **especies alóctonas** de áreas adyacentes pueden cruzar fronteras y convertirse en nuevos elementos de la biota. Además, la actividad humana ha favorecido el movimiento de especies desde las largas distancias y procedentes de hábitats distintos, cuya colonización se ve favorecida cuando las condiciones ambientales del hábitat receptor cambian, proporcionando condiciones óptimas para que triunfe la especie alóctona. Con respecto a las especies vegetales alóctonas, se sabe que en la actualidad, en la CAPV existen 478 especies alóctonas de plantas vasculares (20,8% de la flora total) que aparecen con mayor o menor frecuencia de forma espontánea en diversos hábitats del territorio, de las que 86 (18%) muestran carácter invasor.

Los estudios realizados indican que los principales impactos del cambio climático serían: favorecimiento del establecimiento de nuevas especies alóctonas originarias de regiones cálidas y el aumento en la extensión de algunas especies ya invasoras en el territorio (debido al aumento de las temperaturas invernales que podría aumentar la oceanidad en ciertas comarcas); aumento en la superficie de zonas sometidas a sequía estival (clima mediterráneo, debido a una disminución de las precipitaciones estivales, sobre todo en las comarcas submediterráneas) lo que en principio dificultaría el establecimiento y expansión de muchas especies alóctonas. Además, se esperan cambios en la distribución de los pisos bioclimáticos: así, bajo un escenario de reducción de la precipitación de un 10% y un aumento de la temperatura media anual de 1,65 °C para el periodo 2011-2040, se producirían cambios en la extensión y distribución de los ombrotipos de la CAPV, con un aumento de la extensión del ombrotipo seco y subhúmedo junto con una disminución de las áreas con ombrotipo húmedo e hiperhúmedo. En el occidente vizcaíno esta tendencia limitaría la extensión de algunas especies invasoras como *Robinia pseudoacacia*, *Paspalum dilatatum*, *Cortaderia selloana*, *Aster squamatus*, etc. y favorecería a otras especies como *Dittrichia viscosa*, *Sonchus tenerrimus*, *Senecio inaequidens*.

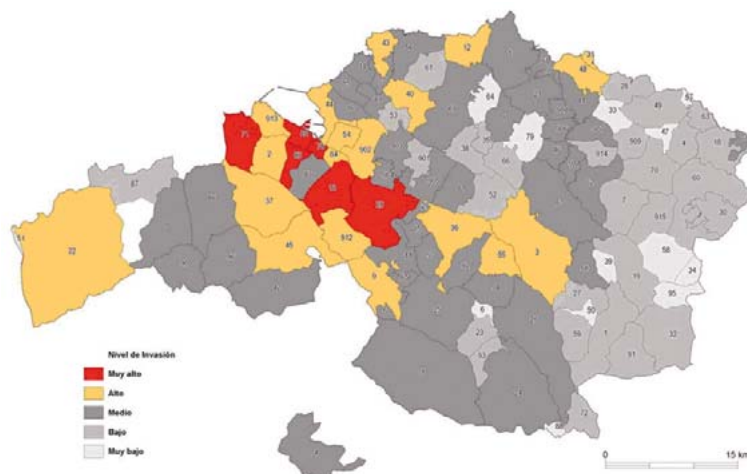


Figura 21. Clasificación de municipios de Bizkaia en función de su vulnerabilidad y riesgos frente a las especies alóctonas invasoras.

A pesar de que muchas especies alóctonas muestren preferencia por las comarcas más cálidas, el factor antrópico seguirá resultando determinante a la hora de determinar el grado de invasión de especies alóctonas en la CAPV. Así, los estudios muestran que la comarca del Gran Bilbao es la que representa un mayor nivel de invasión, coincidiendo con la presencia de temperaturas medias más altas (piso termotemplado superior) y una elevada disponibilidad de hábitats artificiales para el establecimiento de especies alóctonas casuales. Un aumento de la temperatura (sobre todo invernal) podría favorecer la expansión de algunas especies a otras comarcas, si encuentran hábitats favorables. En la Figura 21 se presenta un mapa donde se clasifican los municipios de Bizkaia en función de su vulnerabilidad y riesgos frente a las especies alóctonas invasoras.

El análisis del grado de invasión de los ecosistemas riparios muestra que existe una correlación negativa entre el índice de invasión y la continentalidad y positiva entre éste y la termicidad, aunque aumenta con la degradación del estado ecológico y/o el aumento de la presión humana. En este sentido, en un escenario de modificación de dichos parámetros climáticos, la conservación de las riberas fluviales en un estado de conservación adecuado y la reducción de las perturbaciones de origen antrópico, constituyen la mejor medida de adaptación frente al cambio climático (Figura 22).

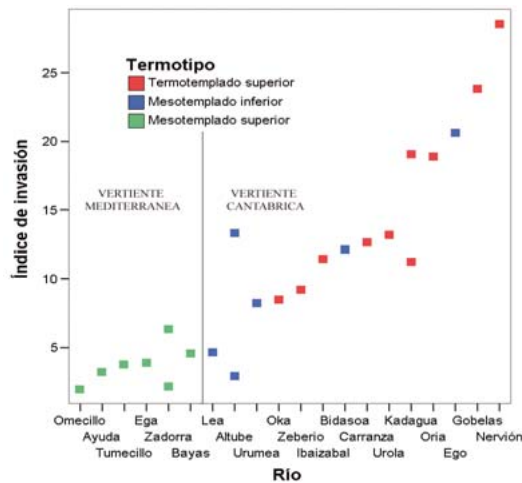


Figura 22. Índice de invasión de los ríos de la CAPV. Los colores indican diferentes termotipos, según la tipología bioclimática de Rivas-Martínez (2007).

Por otro lado, se ha detectado la vulnerabilidad a las invasiones vegetales en humedales, como es el caso de *Baccharis halimifolia* en las marismas de la Reserva de la Biosfera de Urdaibai en Bizkaia. En los estudios se ha observado como la capacidad invasora de dicha especie disminuye al aumentar el grado de salinidad y encharcamiento (Caño *et al.*, 2010) pudiendo estar condicionada en el futuro por un cambio en la cuantía y distribución de las precipitaciones. Además, el posible retroceso de la línea de costa podría limitar la distribución de la especie.

Teniendo en cuenta los impactos esperados en las especies alóctonas, éstas son las medidas de adaptación que se proponen:

1. Desarrollar, al menos en las áreas de protección especial (Reservas, Parque Naturales y otras áreas de interés), un Plan de Manejo Integrado para abordar el control de las especies invasoras (Campos *et al.*, 2000, Herrera & Cambos, 2010) que constaría de seis componentes básicos: la prevención, método que resulta ser el más eficiente y económico si se compara con otras opciones de gestión y manejo ya que elimina desde un principio las potenciales consecuencias de una invasión; la valoración del impacto de cada especie en los distintos ecosistemas (inocuas, amenaza actual y amenaza futura); la elaboración de un Programa de Control Específico para cada especie dado que todas no producen los mismos impactos ni requieren la misma prioridad de actuación; la evaluación de la efectividad de las técnicas de control y manejo aplicadas; seguimiento y monitorización de las especies tratadas y de la respuesta de las especies y comunidades nativas a los tratamientos aplicados; y por último, la educación y divulgación medioambiental.
2. Las medidas de divulgación e información deben ir encaminadas a crear una conciencia pública del riesgo que suponen las especies exóticas para la conservación de los ecosistemas naturales y hacer un llamamiento a la colaboración y participación de ciudadanos y organismos públicos y privados en la lucha contra algunas de estas especies.
3. Dado que la alteración antrópica de los ecosistemas se presenta como uno de los principales factores que facilitan su invasión, la conservación de los hábitats naturales y seminaturales en un aceptable grado de naturalidad puede ser una buena medida para prevenir el establecimiento y expansión de muchas especies invasoras. Dicho planteamiento se convierte al mismo tiempo en objetivo y herramienta en la lucha contra las especies invasoras.
4. Creación de una legislación específica para la lucha contra la invasión de plantas alóctonas en la CAPV, que regule su uso, su distribución, su venta, etc., en el territorio, es decir, una legislación donde se establezcan protocolos de actuación en todas aquellas actividades que puedan estar relacionadas con la invasión de estas especies.
5. *Baccharis halimifolia*, *Cortaderia selloana* y *Fallopia japonica*, por su gran poder colonizador y su creciente expansión en hábitats naturales y seminaturales de gran valor ecológico, incluidos enclaves naturales protegidos como la Reserva de la Biosfera de Urdaibai, deben ser consideradas como plagas vegetales de alto impacto ecológico y se deberían tomar medidas inmediatas para su erradicación y control. Dada la gran rapidez con que están aumentando estas tres especies, se recomienda elaborar urgentemente Programas de Control específicos para cada una, con el fin de erradicarlas y/o frenar su expansión antes de que el problema adquiera mayores proporciones. Otras especies mucho menos abundantes actualmente, muestran un claro comportamiento invasor en hábitats naturales y debería abordarse su control inmediato para evitar que su invasión adquiera mayor extensión y el coste sea mucho más elevado: *Spartina patens*, *Spartina alterniflora*, *Cotula coronopifolia*, *Oenothera glazioviana*, *Oe. x fallax*, *Pterocarya x redheriana*, etc.

El suelo es un recurso no renovable que soporta el desarrollo de la vegetación, provee nutrientes, agua y aire a las raíces de las plantas y determina fuertemente la productividad. La productividad es un componente básico de los ecosistemas, que condiciona su funcionamiento y el conjunto de bienes y servicios que

puede proveer. Condiciona así su dinámica natural y su respuesta a los modelos de gestión. El suelo sirve de plataforma para las actividades humanas y constituye un elemento del paisaje y un archivo del patrimonio cultural. A su vez, desempeña un papel central como hábitat y patrimonio genético. Almacena, filtra y transforma muchas sustancias, incluidos el agua, los nutrientes y el carbono. Todas estas funciones deben protegerse por su importancia socioeconómica y ambiental.

Sin embargo, los suelos están sujetos a diferentes procesos de degradación (naturales y antrópicos) como la erosión, la pérdida de materia orgánica, la contaminación, la salinización, la compactación, la pérdida de la biodiversidad del suelo, el sellado, las inundaciones, los deslizamientos de tierras, etc. Dichos procesos, podrían verse acelerados por el cambio climático, ya que la temperatura, la precipitación (tanto la cantidad como su distribución temporal), así como las propiedades químicas de la atmósfera (especialmente el contenido en dióxido de carbono y los compuestos de nitrógeno y azufre) inciden directamente en los procesos edáficos.

Se detallan a continuación, de forma abreviada, como se verán afectados por el cambio climático algunas de las características edáficas citadas anteriormente.

• **Carbono orgánico del suelo.** La cantidad de carbono presente en los horizontes más superficiales de los suelos depende de la cantidad de materia orgánica presente en los mismos, que a su vez está regulada por (i) la producción primaria neta, (ii) la distribución de los fotosintetizados entre las raíces y la parte aérea de la vegetación y (iii) el ritmo al que los diferentes compuestos orgánicos se descomponen (Batjes, 1996). Los suelos agrícolas y forestales, en la mayoría de los casos han perdido parte de su C orgánico debido a los sistemas de manejo intensivos empleados durante décadas (Mijangos *et al.*, 2010; Gartzia-Bengoetxea *et al.*, 2009). Además, el IPCC considera que el aumento de la descomposición de la materia orgánica debida a un calentamiento del suelo puede retroalimentar el propio cambio climático (IPCC, 2007). Sin embargo, la fotosíntesis es un proceso que también depende de la temperatura. Por lo tanto, la fotosíntesis neta (fotosíntesis menos respiración vegetal) aumentará con un aumento de la temperatura y de alguno de los gases que provocan este aumento térmico (Kirschbaum, 1995). Kirschbaum (2000), sin embargo, mostró que la mineralización de la materia orgánica del suelo (SOM) depende de manera más directa de la temperatura que la fotosíntesis neta, y por lo tanto, puede pensarse que el aumento de la temperatura previsto será crucial para el equilibrio del ciclo del carbono en los ecosistemas.

• **Pérdida de suelo.** La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, define el factor K como la sensibilidad del suelo a este tipo de degradación. El factor K depende del contenido en carbono orgánico, la textura y la estructura del suelo, siendo la primera y la última de estas variables sensibles al cambio climático. Cabe asimismo esperar un aumento en la erosión eólica en la medida en que aumente la frecuencia de los eventos tempestuosos y disminuya la cubierta vegetal. Además, el cambio en el régimen de precipitaciones inducirá incrementos en el grado de erosión potencial de los suelos. El previsible aumento de los incendios supondría pérdidas de carbono orgánico edáfico y aumento del riesgo de erosión. Incrementos en la erosión del suelo suponen pérdida de los horizontes del suelo más ricos en carbono orgánico, retroalimentando la degradación del mismo.

• **Biodiversidad.** La CAPV es una región altamente urbanizada y con gran densidad de población, en la que la diversidad biológica está sometida a una fuerte presión. La pérdida de hábitat es el mayor problema para la supervivencia de las especies edáficas. Esta pérdida de hábitat se puede acentuar con el cambio climático. Existen numerosos organismos saprófitos en el suelo, los cuales tienen un importante papel en la transformación de la materia orgánica previa a la acción de los microorganismos, que son sensibles a cambios en la temperatura y la disponibilidad hídrica en el suelo (p.e., los ácaros oribátidos, hongos, lombrices, colémbolos,...). Sin embargo, hay que tener en cuenta la plasticidad y la capacidad de adaptación de las especies edáficas a nuevas condiciones medioambientales. Por otro lado, los impactos en la comunidad microbiana no debieran ser muy significativos por cuanto está adaptada a sobrevivir a cambios importantes en la temperatura del suelo (cambios día-noche) y en el contenido hídrico (estacionalidad) (Moscatelli *et al.*, 2001).

El impacto sobre los organismos del suelo en el escenario de sequía más extremo podría poner en peligro la supervivencia de las poblaciones actuales. La existencia de estas poblaciones así como la presencia de nuevas en las zonas de las que se desplacen las actuales, dependerá de su capacidad de dispersión y migración.

En la CAPV, con el fin de evaluar y predecir el impacto ecológico esperado en las comunidades edáficas como resultado de los cambios en las propiedades físico-químicas del suelo inherentes al cambio climático, los estudios se han centrado en distintos grupos de organismo modelo. Se detallan a continuación algunos de los resultados obtenidos en este apartado:

- **Ácaros oribátidos:** son invertebrados clave de la microfauna edáfica, especialmente sensibles a cambios en el contenido hídrico del suelo, por lo que resultan buenos indicadores de los cambios en el contenido de agua del suelo, al producirse variaciones significativas en la estructura de las comunidades. Así, en el escenario de sequía más extremo, aquel que se prolongaría en el tiempo hasta un contenido másico del agua del suelo reducido en un 80 % respecto a situaciones normales (en unidades edáficas de laboratorio se alcanza a los 30 días de sequía), supondría que solo quedan unas pocas especies resistentes. En el proyecto se han identificado especies y grupos de especies definidos por escenarios de tipo de ecosistemas, y por zonas climáticas de la CAPV: Mediterránea, Sub-mediterránea, Sub-atlántica y Atlántica (Figura 23). La respuesta de la fauna del suelo a cambios en el tipo de ecosistema arbóreo y a cambios en las zonas climáticas actuales de la CAPV, parece por tanto relevante y bioindicadora.
- Los **hongos** son organismos poiquilohidros y poiquilotermos, por lo que cualquier cambio en la temperatura y la disponibilidad hídrica en el suelo afecta de forma inmediata a todos los aspectos de su fisiología, y en especial a su fructificación. En el presente proyecto el estudio de las especies fúngicas se ha abordado a dos niveles, por un lado se realiza el seguimiento de la micoflora de los sistemas dunares y por el otro el comportamiento de la especie alóctona *Clathrus archeri* (en clara expansión en la última década, habiéndose extendido ampliamente en las zonas donde la sequía estival es nula o baja, véase Figura 24).







ZONA CLIMÁTICA	ECOSISTEMA, LUGAR		
AH: Zona de clima Atlántico (Hiperhúmeda)	Haya (<i>F. sylvatica</i>), Artikutza Haya (<i>F. sylvatica</i>), Añarbe Roble (<i>Q. robur</i>), Añarbe		
AT. Zona de clima Atlántico (Subhúmeda)	Duna, Pinar. Gorliz Encina (<i>Q. ilex</i>), Gorliz Roble (<i>Q. robur</i>), Urduliz Encina (<i>Q. ilex</i>), Dima		
SA. Zona de clima Subatlántico	Roble (<i>Q. robur</i>), Beluntza Quejigo (<i>Q. faginea</i>), Barrerilla Encina (<i>Q. ilex</i>), Tertanga Encina (<i>Q. ilex</i>), Altube Haya (<i>F. sylvatica</i>), Altube		
SM. Zona de clima Submediterráneo (Subhúmeda)	Haya (<i>F. sylvatica</i>), Arriano Haya (<i>F. sylvatica</i>), Pto. Osluna Carrasco (<i>Q. rotundif.</i>), Morillas Roble (<i>Q. robur</i>), Peñacerrada Quejigo (<i>Q. fag.</i>), Peñacerrada		
ME. Zona de clima Mediterráneo (Seca)	Carrasco (<i>Q. rotundif.</i>), Osluna Encina (<i>Q. ilex</i>), Salinillas de Burandón		

Figura 23. Se han establecido estaciones o puntos piloto donde desarrollar los muestreos. Son 19 ecosistemas (15 de ellos con datos históricos, recogidos el año 1980, 1984, y 1989 -hace 29, 25 o 20 años) pertenecientes a 6 tipos diferentes de vegetación siguiendo un gradiente ombrotérmico que diferencia 5 zonas climáticas en la CAPV.

Los datos obtenidos en la serie de 19 años (1991-2009) realizada en los sistemas dunares del territorio han generado un inventario de 429 especies de macromicetos. El análisis de la micocenosis revela la existencia de un cambio en la composición de la comunidad fúngica a partir del año 2000. El comportamiento de las especies antes y después de ese año ha seguido tres patrones: 1. especies que presentan frecuencias similares en ambos periodos (*Hygrocybe conicoides*, *Inocybe rufuloides*), un segundo grupo de especies con una reducción drástica de la frecuencia en la segunda década (*Conocybe dunensis*, *Geopora arenicola*), y un tercer grupo con incremento notorio en estos últimos años (*Agrocybe pedia-des*, *Psathyrella candolleana*).

Se ha observado en el conjunto de las especies más frecuentes un claro retraso (hasta 60 días) en el final del periodo de fructificación durante la última década. Se observa correspondencia entre la temperatura media anual y la amplitud del periodo de fructificación. A la vista de los resultados se proponen las es-

pecies dunares *Agaricus devoniensis*, *Arrhenia spathulata*, *Conocybe dunensis*, *Geopora arenicola*, *Hygroclybe conicoides*, *Inocybe rufuloides* y *Psilocybe halophila* como indicadores sensibles a los cambios en la temperatura y disponibilidad hídrica del suelo.

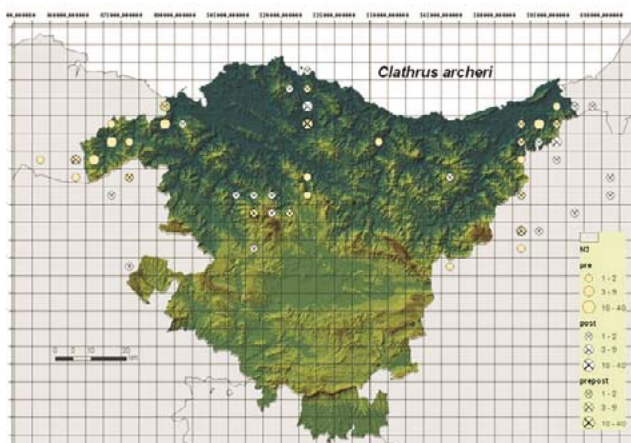


Figura 24. Distribución de *Clathrus Archeri* en la CAPV, gasteroide originario de Australia y Tasmania. Está en clara expansión en la última década. Su óptimo en la CAPV es colino o mesotemplado, siempre y cuando no exista sequía estival.

Ante la predicción de un aumento de la temperatura y una disminución de la disponibilidad hídrica cabría esperar en un futuro un retroceso en la distribución actual de la especie.

- Las **lombrices** son invertebrados clave en la mayor parte de suelos de todo el mundo, tanto en términos de biomasa como en términos de actividad, siendo artífices importantes de la estructura y propiedades físico-químicas del suelo y partícipes en procesos como la descomposición de la materia orgánica y los ciclos biogeoquímicos de nutrientes y contaminantes. En el contexto de K-EGOKITZEN, se ha determinado que el crecimiento, la mortalidad y el sistema inmune de la lombriz modelo de estudio universal, *Eisenia fetida*, se ven afectados por el pH y el contenido en materia orgánica del suelo (Rodríguez, 2010), que son dos propiedades susceptibles de verse seriamente alteradas en los escenarios previsibles de cambio climático, con consecuencias ecológicas en los suelos, dado el papel clave de las lombrices en los mismos, y para la gestión medioambiental de suelos contaminados y la aplicación de normativas (REACH, Estrategia Europea del Suelo, Ley de suelos, etc.).
- En el marco del proyecto se están estudiando, a su vez, las consecuencias ecológicas del cambio climático en relación a los cambios en la fenología y la fisiología de la biota, en la distribución de especies y en las comunidades biológicas. En este sentido, se han dirigido los esfuerzos al estudio del **desarrollo gonadal en el limaco** común, *Arion ater*, especie clave en ecosistemas terrestres, no protegida y sobre la que se dispone de información y amplia experiencia. Mediante el estudio de series históricas parciales de datos (1983-2007) y la elaboración de series temporales de datos (2008-2010) en poblaciones silvestres de localidades modelo con distinto patrón de estacionalidad (valle –Delika- vs montaña –Irtati)

se han obtenido indicios preliminares de desplazamientos del ciclo vital (reproductor). Además, se ha determinado que la ventana estacional condiciona el ciclo y las pautas reproductoras. Así, en las poblaciones de limacos de montaña (ventana estacional estrecha; 4-5 meses) coexisten individuos de tres fases del ciclo vital (juveniles, machos y hembras) pero de distinta edad, en tanto que en las poblaciones de valle (ventana estacional ancha; 9-10 meses) las distintas fases se suceden (juveniles en primavera, machos en verano y hembras en otoño). Esto puede suponer que la capacidad de adaptación frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antropogénicas (contaminación química), difiera dependiendo de la ventana estacional, dado que la capacidad de respuesta y la resistencia de cada fase vital es muy distinta (Zaldibar *et al.*, 2009) (Figura 25).

Teniendo en cuenta los cambios previsible en la fenología de la fauna edáfica, representada por el limaco como modelo y especie clave en la cadena trófica, éstas son las medidas de adaptación que se proponen:

1. Desarrollar un programa de seguimiento del desplazamiento y del cambio de amplitud de las ventanas estacionales en relación con el ciclo reproductor y el crecimiento de la fauna edáfica que permita diagnosticar el nivel y la extensión de las alteraciones asociadas al cambio climático y adaptar oportunamente la gestión del medio natural y de sus recursos (por ejemplo, vedas, etc.). Con este propósito se recomienda la creación de un banco de especímenes ambientales que incluya biopsias gonadales como herramienta útil tanto para futuros estudios retrospectivos y estudios prospectivos actuales, como para la caracterización y protección de espacios de interés especial (parques, etc.).
2. Revisar y adaptar los criterios de gestión e intervención de la legislación vigente para la protección y uso del suelo, especialmente en lo que se refiere a los cambios previstos en la susceptibilidad de la biota frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antropogénicas (contaminación química).

• **Contaminación: interacciones entre cambio climático y contaminación.** Las aplicaciones de los residuos orgánicos ganaderos en el suelo son habituales como fertilizante. Sin embargo, el aumento de la temperatura del suelo podría producir una activación de los microorganismos nitrificantes, acelerando el proceso de transformación de nitrógeno amoniacal a nítrico. Esto podría, por un lado, facilitar la lixiviación del nitrato a las aguas subterráneas e incrementar, por otro lado, las emisiones del gas de efecto invernadero N_2O , que será a su vez también producido sinérgicamente por las bacterias desnitrificantes. El balance entre la contribución de ambos tipos de microorganismos a la emisión de este potente gas de efecto invernadero será a favor de los organismos nitrificantes en el período estival (con los menores contenidos hídricos del suelo previstos con el cambio climático) y a favor de los desnitrificantes en los períodos de invierno, primavera y otoño (en caso de las mayores precipitaciones previstas para estos períodos). Todo ello podría aumentar la contaminación de aguas y retroalimentar el calentamiento global.

Por otro lado, en el proyecto se han estudiado las interacciones entre cambio climático y contaminación. En el caso de los ecosistemas edáficos, se han seleccionado a limacos y lombrices como modelos experimentales. Se ha determinado que los efectos biológicos (mortalidad, crecimiento, fisiología, biomarcadores de exposición y efecto) y la capacidad de bioacumulación de compuestos químicos contaminantes son

distintos en limacos, según la fase del ciclo vital (reproductor) y según su procedencia (condición de salud, ventana estacional, etc.). Es decir, una concentración ambiental dada de un contaminante (parámetro básico en la legislación actual para determinar actuaciones para la protección y/o el uso del suelo) supone distintos niveles del mismo acumulados en los tejidos (relevancia ecológica y sanitaria) y diferente potencial tóxico, en función de alteraciones fenológicas y fisiológicas asociados a distintos escenarios de cambio climático. Por otro lado, una acidificación del suelo y una disminución de su contenido en materia orgánica suponen una menor acumulación pero, paradójicamente, una mayor toxicidad de los metales en lombrices.

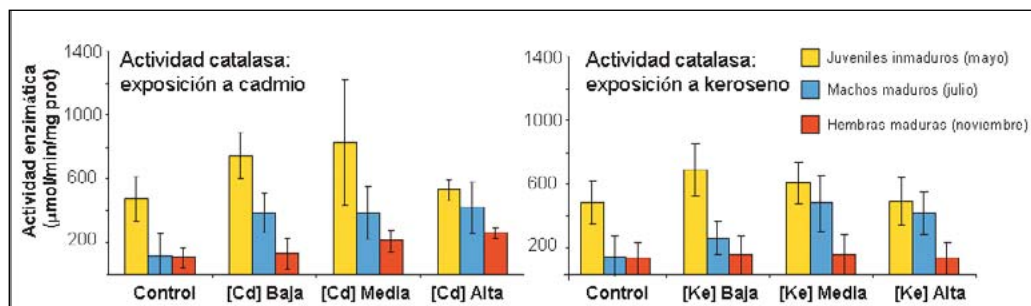


Figura 25. El aumento de la actividad catalasa es un biomarcador universal de estrés oxidativo. En limacos (amarillo: juveniles; azul: machos; rojo: hembras) expuestos a cadmio (Cd) y kerosene en el laboratorio, tanto los niveles basales de los controles como el nivel de respuesta varían dependiendo de la fase vital (son juveniles en primavera, machos en verano y hembras en otoño). Esto supone que deben revisarse los valores guía para éste y otros biomarcadores como medida de adaptación a las anomalías fenológicas resultantes de un cambio en el régimen de temperaturas.

- **Inundaciones.** La anteriormente citada variación en el régimen de precipitaciones aumentará de manera considerable la posibilidad de aparición de inundaciones. Éstas son fenómenos naturales que no pueden evitarse. No obstante, algunas actividades humanas (como el incremento de los asentamientos humanos y los bienes económicos en las llanuras aluviales y la reducción de la capacidad natural de retención de las aguas por el suelo) junto al propio cambio climático están contribuyendo a aumentar las probabilidades de que ocurran, así como su impacto negativo.

- **Salinización.** Los motores de la salinización son el clima, la composición química del agua de riego y las condiciones del suelo y su capacidad de drenaje. La salinización de las aguas y de los suelos regados por las mismas no es actualmente un problema grave en la CAPV. Sin embargo, la prevista reducción de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas pueden influir de manera negativa en este aspecto del suelo a pesar de que la salinización sea un problema de explotación insostenible de los recursos hídricos. Las zonas áridas y semiáridas poseen capacidad de adaptarse a los largos periodos de sequía. Sin embargo, esta adaptación es más costosa en un medio natural sometido a la acción y explotación humana debida, entre otros

factores, a la acumulación de fertilizantes y plaguicidas. El problema radica pues en la extensión inadecuada de cultivos irrigados en áreas con substratos inadecuados para el cultivo, y en el deficiente manejo de las técnicas de regadío como la utilización de aguas con exceso de sales, aguas que pueden provenir tanto de aguas superficiales salinas como de acuíferos con problemas de sobreexplotación y/o intrusión marina.

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente y dada la importancia de los suelos y la necesidad de frenar su degradación, las medidas de protección y adaptación de los suelos deberían orientarse hacia:

1. Concienciar a la población sobre la importancia de los suelos y fomentar la utilización sostenible del mismo, integrando la protección del suelo en las políticas sectoriales que puedan tener una incidencia importante en él, especialmente la agricultura, el desarrollo regional, los transportes y la investigación.
2. Identificar las zonas en las que exista riesgo (actual y futuro) de erosión, pérdida de materia orgánica, compactación, salinización y deslizamientos de tierras, así como aquéllas en las que ya se haya producido un proceso de degradación. A continuación, fijar objetivos y adoptar programas de medidas apropiadas para reducir los riesgos mencionados y luchar contra sus consecuencias.
3. Contemplar medidas que permitan limitar el sellado del suelo, sobre todo mediante la rehabilitación de los terrenos abandonados o, cuando sea necesario el sellado, mitigar sus efectos.
4. La práctica de una agricultura orientada a la conservación del suelo y al aumento del contenido de carbono orgánico y la mejora de la fertilidad edáfica ofrecen grandes posibilidades de contrarrestar los efectos negativos del cambio climático. La reforma de la Política Agraria Común (Agenda 2000) ofrece posibilidades de aplicación de estos principios. La calidad del suelo debería tomarse en consideración en los planes urbanísticos y en cualquier reclasificación de usos.
5. Proporcionar un instrumento capaz de realizar evaluaciones del estado de degradación de suelo a escala de gestión y escala de paisaje y en el tiempo (seguimiento).
6. Para poder hacer frente a la gestión de las inundaciones, hace falta disponer de una herramienta eficaz de información y de una base adecuada para el establecimiento de prioridades y la toma de decisiones adicionales de índole técnica, económica y política. Es necesario, por lo tanto, estipular la elaboración de mapas de peligrosidad por inundaciones y de mapas de riesgo de inundación que muestran las consecuencias adversas potenciales asociadas con diversos escenarios de inundación, incluida la información sobre fuentes potenciales de contaminación del medio ambiente a consecuencia de las inundaciones. En este contexto, se deben evaluar las actividades que aumentan los riesgos de inundación. Junto a esto hace falta elaborar planes de gestión de integral de cuencas hidrográficas en las que se tengan en cuenta las «mejores prácticas» y «mejores tecnologías disponibles» para la correcta gestión de las inundaciones potenciales.
7. Hace falta implementar medidas de prevención de la salinización en sistemas agrarios de regadío mediante la mejora en la gestión de los recursos hídricos. Hay que evitar la sobreexplotación de acuíferos

mediante una gestión técnicamente correcta de las aguas subterráneas y de riego. Hay que promover la realización de cartografía de suelos para localizar las áreas con mayor riesgo de salinización en un escenario de cambio climático, aprovechando y aumentando la base documental y de datos existente con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre un proceso todavía poco conocido como punto de partida para un programa de prevención, gestión y seguimiento.

8. El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) pone de manifiesto que la biodiversidad del suelo es uno de los ámbitos que requiere una atención especial. Es fundamental la identificación de especies indicadoras, así como de cambios en la fenología de los organismos sensibles a los efectos del cambio climático en el suelo para desarrollar programas de seguimiento del desplazamiento y del cambio de amplitud de las ventanas estacionales en relación con el ciclo reproductor y el crecimiento de los organismos edáficos que permitan diagnosticar el nivel y la extensión de las alteraciones asociadas al cambio climático y adaptar oportunamente la gestión del medio natural y de sus recursos. En este sentido, en el proyecto se recomienda establecer un banco de especímenes ambientales que incluya biopsias, muestras criogenizadas para análisis molecular y muestras liofilizadas para análisis químicos de especies centinela, así como consolidar una base de datos general que incluya biomarcadores, parámetros de condición y niveles de contaminantes en especies clave junto con registros de variables ambientales, como herramientas útiles para estudios retrospectivos y prospectivos en lo relativo a la evaluación y protección de la salud de los ecosistemas (revisión de valores de base y valores críticos, estrategias de muestreo y análisis, etc).
9. Se recomienda, a su vez, revisar y adaptar los criterios de gestión e intervención de la legislación vigente para la protección y uso del suelo, especialmente en lo que se refiere a los cambios previstos en la susceptibilidad de la biota frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antrópicas (contaminación química).

REFERENCIAS

Agenda 2000 - http://ec.europa.eu/agenda2000/public_es.pdf

Batjes N. H. (1996). *Total carbon and nitrogen in the soils of the world*. Eur. J. Soil Sci. 47, 151–163.

Campos, J.A., M. Herrera, A. Darquistade (2000). *Distribución y ecología de plantas exóticas naturalizadas en hábitats estuáricos. La marisma de Urdaibai: biodiversidad en peligro*. In: Investigación aplicada a la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. V Jornadas de Urdaibai sobre Desarrollo Sostenible. pp. 165-170. Gobierno Vasco. Vitoria-Gasteiz.

Caño L., García Magro D., Campos J.A., Prieto A., Rozas M., Alvarez F. & Herrera M. (2010). *La invasión de Baccharis halimifolia en la reserva de la biosfera de Urdaibai: Bases para la gestión de humedales*. Actas del 3^{er} Congreso Nacional sobre Invasiones Biológicas «EEI 2009». GEIB. Serie técnica. N 4. 320 pp.

CDB. *Convenio sobre la diversidad biológica*.

93/626/CEE: Decisión del Consejo, de 25 de octubre de 1993, relativa a la celebración del Convenio sobre la diversidad biológica.

Gartzia-Bengoetxea N., González-Arias A., Merino A., Martínez de Arano I. (2009). *Soil organic matter in soil physical fractions in adjacent semi-natural and cultivated stands in temperate Atlantic forests*. Soil Biology and Biochemistry 41(8): 1674-1683.

Herrera M. & Campos J.A. (2010). *Flora alóctona de Bizkaia*. Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia. Diputación Foral de Bizkaia. Bilbao. 192 pp.

IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

Kirschbaum MUF (1995). *The Temperature dependence of soil organic matter decomposition and the effect of global warming on soil organic C storage*. Soil Biol. Biochem. 27: 753-760.

Kirschbaum MUF (2000). *Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming?* Biogeochemistry 48: 21–51.

Mijangos I., Albizu I., Garbisu C. (2010). *Beneficial Effects of Organic Fertilization and No-Tillage on Fine-Textured Soil Properties Under Two Different Forage Crop Rotations*. Soil Science 175 (4);173-185.

Moscatelli M.C., Fonck M., De Angelis P., Larbi H., Macuz A., Rambelli A., Grego S. (2001). *Mediterranean natural forest living at elevated carbon dioxide: soil biological properties and plant biomass growth*. Soil Use and Management 14: 195-202.

Rivas Martínez S. (2007). *Mapa de series, geoserias y geopermaseries de vegetación de España*. Memoria del mapa de vegetación potencial de España. Parte I. Itinera Geobot. 17: 5-436.

Zaldibar B., Castilla A.M., Angulo E., Soto M., Marigómez I. (2009). *Variations through their life-cycle in the responsiveness of cell and tissue-level biomarkers in the digestive gland of slugs subjected to chronic metal pollution*. 26th ESCPB Congress Innsbruck, September 6-10, 2009.

RECURSOS AGROPECUARIOS Y FORESTALES

Recursos Agrarios

En el sector agrario, una decreciente disponibilidad hídrica como consecuencia tanto de la disminución de las precipitaciones y/o el aumento de la evapotranspiración potencial, como de la mayor demanda de unos ecosistemas más activos por el aumento del CO₂ y de la temperatura, producirá efectos contrapuestos y no uniformes, pudiendo ser beneficiosos o dañinos para los diferentes sistemas agrarios. Por ello, en el marco de K-Egokitzen I se han realizado proyecciones para conocer cuál es el efecto que tendrá el incremento en la temperatura del aire, de la concentración de CO₂ así como los cambios en las precipitaciones estacionales en el rendimiento de algunos de los principales cultivos de la CAPV, como son el trigo y el viñedo. Para la consecución de dicho objetivo, es decir, para el análisis de los impactos asociados al cambio climático en la agricultura, se ha desarrollado una cadena de simulación a través de un sistema de información geográfica donde para cada celda se incorpora la información del cultivo, del clima y del suelo, simulándose los impactos o adaptaciones.

A partir de estos modelos se han identificado zonas con diferentes niveles de impacto. Asimismo, a través de los modelos se han podido dar los primeros pasos para el estudio de las estrategias de adaptación tanto a corto (cambios en las fechas de siembra o en las variedades) como a largo plazo (adaptar los sistemas agrícolas a las nuevas condiciones climáticas).

En lo que se refiere al sector ganadero en los pastos de montaña, se ha modelizado la dinámica de producción de los pastos de montaña a partir de la disponibilidad hídrica y la carga ganadera con el fin de poder conocer el impacto del cambio climático sobre la producción primaria aérea y establecer medidas de adaptación oportunas.

Se resumen, a continuación, los resultados preliminares obtenidos en el sector agrario:

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Se está produciendo un desequilibrio entre el grado probable (contenido de azúcar) y la madurez fenólica obtenida en el momento de la vendimia. Es decir, se está adelantando la fecha de vendimia al alcanzarse antes el contenido de azúcar que la define (13.5 °C), por lo que no se alcanza la madurez fenólica adecuada (riesgo para la calidad del mosto debido al exceso de graduación).
- Se observa un descenso de la productividad en los sistemas de secano y un aumento de la demanda de los sistemas de riego.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Se producirán diferencias en las respuestas entre distintos grupos funcionales. Así el efecto de la sequía es mayor en plantas C3 (i. e. trigo), que en plantas C4 (i.e. maíz). Aunque, éstas últimas también responden al aumento del CO₂ manifestándose sobre todo en su respuesta en la eficiencia en el uso del agua.
- Los impactos proyectados a partir de la cadena de simulación sobre el trigo de invierno y la vid, están sujetas a cierta incertidumbre. En el caso de la vid, incluso en el signo del impacto, aunque las

- Se está observando el aumento de la vulnerabilidad en los frutales por el adelanto de la floración, debido a las heladas tardías.
- Se está observando una mayor incidencia de diversas plagas agrícolas y ganaderas.

proyecciones obtenidas con los RCMs que mejor simulan la estacionalidad de la CAPV indican impactos positivos.

- Las condiciones climáticas que se proyectan favorecerán la colonización de los cultivos por especies plaga de distribución mediterránea y a un incremento del número de generaciones
- Vid: el aumento de la temperatura conllevará una mayor degradación del ácido tartárico disminuyendo la acidez total, afectando negativamente sobre la calidad final de los vinos. Es decir, los vinos tendrán mayor grado alcohólico con elevado pH y menor acidez total.
- El papel de los ecosistemas terrestres como sumideros de carbono puede verse seriamente comprometido durante las próximas décadas, con lo que políticas de aforestación y reforestación tendrán que tener en cuenta las condiciones que se están proyectando para el futuro inmediato.
- Se prevé un descenso de la capacidad de carga de los pastos de montaña, ofreciendo menor cantidad de hierba pero de mejor aprovechamiento por parte del ganado ovino. El ganado vacuno será el más perjudicado en estas condiciones.

Recursos Forestales

En el caso del sector forestal, con el objetivo de estudiar el posible impacto del cambio climático en la distribución de las especies forestales de la CAPV, se han realizado simulaciones que muestran la posible distribución del nicho potencial en años futuros (2020, 2050 y 2080). Para ello se han utilizado dos modelos de nicho ecológico (GARP y MAXENT, al utilizar algoritmos diferentes en sus predicciones), a través de los cuales se ha podido generar cartografía del espacio que reúne las condiciones ambientales capaces de mantener poblaciones viables de las especies forestales modelizadas en diferentes tiempos futuros y bajo escenarios de cambio climático. Se han modelizado las siguientes especies: *Q. robur*, *F. sylvatica*, *Q. petraea*, *Q. suber* y *Q. pyrenaica*.

Como apoyo a los modelos utilizados, se utilizan los resultados obtenidos a partir de la dendrocronología, con la que se ha analizado la influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento de los árboles mediante la relación entre el incremento anual de anchura de los anillos de crecimiento y las variables climáticas.

BAJO EL CLIMA ACTUAL

- Se ha observado un incremento de plagas y enfermedades forestales. Algunas especies perforadoras o defoliodoras pueden llegar a completar dos ciclos biológicos en un año o aumentar su área de colonización como consecuencia de los inviernos más benignos.
- Se ha observado un incremento significativo en el volumen anual de madera dañado por perturbaciones naturales (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.).
- A partir de estudios dendrocronológicos se está observando la influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento de los árboles (*Q. robur*, *Q. pyrenaica*). Las relaciones entre el crecimiento radial y las variables climáticas seleccionadas (media de la humedad disponible mensual y la media de la temperatura mensual) muestran que el efecto de los factores climáticos varía en función de la localidad y también en función de la especie. Así, la sensibilidad a los factores climáticos de ambas especies es similar en Bertiz, no así en Izkiz.

BAJO EL CLIMA FUTURO

- Los modelos de nicho ecológico utilizados pronostican cambios en la distribución de algunas especies forestales de la CAPV.
- El calentamiento global podría causar una pérdida a largo plazo de las reservas de carbono del suelo, debido a una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo. No obstante, la previsible disminución en las precipitaciones podría causar el efecto contrario.
- La explotación forestal podría ver alterado su periodo productivo (rentabilidad económica alterada).
- El aumento de episodios extremos (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.) incrementará de manera significativa el volumen anual de madera dañada por perturbaciones naturales.
- Se verá afectado el equilibrio entre las plagas de insectos, sus enemigos naturales y sus hospedadores.

AUTORES

Coordinadores: Miriam Pinto y Oscar del Hierro (Neiker-Tecnalia).

Flora y vegetación. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Javier Loidi, Gonzalo García-Baquero, Nerea Amaia Laskurain, Jesús Julio Camarero, Arben Alla, Arantza Aldezabal, Estefanía Pérez, Ana Etxeberria, Juan Antonio Campos, Mercedes Herrera, Lidia Caño, Idoia Biurrun, Itziar García- Mijangos, Isabel Salcedo, Rafael Picón, Ibai Olariaga, Nerea Abrego, Estibaliz Sarrionandia.

Ecosistemas agrarios: N2. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Jose M^a Estavillo, Miren Duñabeitia, Sergio Menéndez, Teresa Fuertes de Mendizabal, Igor Setién, Iskander Barrena, Unai Ortega, Joseba Sánchez Zabala, M^a Eréndira Calleja-Cervante, Carmen González Murua, M^a Begoña González Moro. Neiker-Tecnalia: Miriam Pinto, Pilar Merino, Ana Aizpurua. BC3: Agustín del Prado.

Paisaje vegetal. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología): Miren Onaindia, Gloria Rodríguez-Loinaz, Ibone Amezaga, Lorena Peña.

Ecosistemas agrarios: CO₂. UPV/EHU – Departamento de Biología Vegetal y Ecología: Alberto Muñoz-Rueda, Maite Lacuesta, Amaia Mena-Petite, Usue Pérez-López y Anabel Robredo

Ordenación, modelos espaciales. Neiker-Tecnalia: Oscar del Hierro, Miriam Pinto, Nahia Gartzia, Ana Aizpurua, Carla Salinas, Amaia Ortiz, Sonia Castañon, Gorka Landeras, Eugenia Iturritxa, J. Antonio González, Olatz Unamunzaga, Roberto Pérez, Carlos Garbisu, Isabel Albizu, Pilar Merino, Lur Epelde, Sorkunde Mendarte, Susana Virgel, Paloma Moncalean, Pablo González, Ander González, Maialen Iturbide.

En el **sector agrario**, las futuras condiciones ambientales debidas al cambio climático harán que las plantas se enfrenten a variaciones en las condiciones edafoclimáticas que incluirán elevadas concentraciones de CO₂ en la atmósfera, una menor disponibilidad de agua al disminuir las precipitaciones y aumentar la evapotranspiración, un cambio en la temperatura del aire y del suelo y la salinización de los suelos. Estos factores pueden tener efectos contrapuestos y no uniformes, pudiendo ser beneficiosos o dañinos para los diferentes sistemas agrarios. La respuesta de las especies vegetales variará dependiendo de su vulnerabilidad frente a dichos impactos y a su capacidad de adaptación frente a los mismos. Dicha respuesta, dependerá de variaciones tanto intraespecíficas: cultivar, ecotipo, etc., como interespecíficas, y de los grupos funcionales a las que las mismas pertenezcan (Pérez-López *et al.*, 2009).

Los estudios realizados muestran los siguientes impactos en el sector agrario: es de esperar un posible aumento de la productividad de los cultivos (como consecuencia del aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y el consiguiente incremento de la tasa fotosintética de los vegetales); además de un incremento de la eficiencia en el uso del agua (el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera disminuye la transpiración debido al cierre estomático), factor que será determinante cuando las plantas crezcan simultáneamente a elevado CO₂ y con sequía (Robredo *et al.*, 2007). Aunque el aumento de la temperatura puede contrarrestar el efecto anterior al aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos y por tanto de la demanda de agua.

Se debe mencionar que el impacto en los cultivos será diferente en función del grupo funcional al que pertenezcan, así el efecto de la sequía será mayor en plantas C3, observándose al mismo tiempo una mayor incidencia del aumento de CO₂, que en plantas C4. Sin embargo, éstas también responden al aumento del CO₂ de la atmósfera, manifestándose sobre todo en su respuesta en la eficiencia en el uso del agua (Figura 26).

Las variaciones de la precipitación total y de su distribución estacional será determinante en los sistemas de secano y en el diseño y manejo de los sistemas de regadío dado que los aumentos de temperatura pueden incrementar la demanda evapotranspirativa de los cultivos, y con ello las necesidades de riego en algunos casos.

Además, se ha podido observar que la salinización del suelo, como consecuencia de las mayores tasas de evapotranspiración debidas al cambio climático, no afecta a los niveles de agua del suelo ni al contenido hídrico en las plantas. Sin embargo, la eficiencia en el uso del agua aumenta en las plantas en condiciones salinas gracias a una menor pérdida de agua, si bien va acompañada de una menor producción de biomasa. Al mismo tiempo, la salinización disminuye la capacidad de las plantas para adquirir y distribuir nutrientes a la vez que acumula iones tóxicos como el Na⁺. Los estudios realizados, indican que el crecimiento de las plantas bajo elevado CO₂ mitiga y retrasa los efectos del estrés hídrico tanto en cebada como en sorgo y los de la salinidad en cebada.

Por otro lado, las condiciones climáticas que se proyectan favorecerán la colonización de los cultivos por especies plaga de distribución mediterránea y un incremento del número de generaciones. En términos generales, la subida de las temperaturas influirá en las interacciones entre patógenos y cultivos acelerando

el ritmo de crecimiento de los patógenos, lo que incrementa las generaciones reproductivas por ciclo vegetativo, disminuyendo la mortalidad de los patógenos.

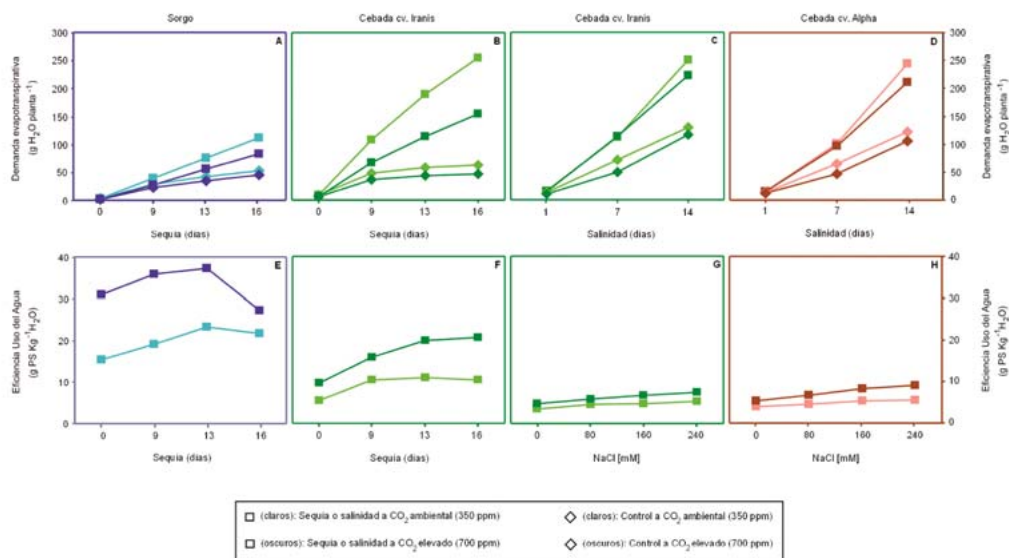


Figura 26. Efectos de la sequía (A, B, E y F) y la salinidad (C, D, G y H) en condiciones ambientales (claros) y elevadas de CO₂ (oscuros) sobre la demanda evapotranspirativa (A, B, C y D) y eficiencia en el uso del agua (E, F, G y H) en sorgo (A y E), en cebada cv. Iranis (B, F, C y G) y en cebada cv. Alpha (D y H).

Con respecto a los microorganismos responsables de la fertilidad de los suelos, en concreto de los microorganismos nitrificantes, nuestros estudios indican que el aumento de la temperatura del suelo producirá una activación de los mismos, acelerando el proceso de transformación de nitrógeno amoniacal a nítrico. Esto facilitará la lixiviación del nitrato a las aguas e incrementará las emisiones del gas de efecto invernadero N₂O, que será a su vez también producido sinérgicamente por las bacterias desnitrificantes. El balance entre la contribución de ambos tipos de microorganismos a la emisión de este potente gas de efecto invernadero será a favor de los organismos nitrificantes en el período estival (con los menores contenidos hídricos del suelo previstos con el cambio climático) y a favor de los desnitrificantes en los períodos de invierno, primavera y otoño (en caso de las mayores precipitaciones previstas para estos períodos). Todo ello potenciará la contaminación de aguas y aire debida a las prácticas agrícolas.

Con el objetivo de conocer con mayor detalle los impactos del cambio climático en los cultivos de la CAPV, en el marco del proyecto K-Egokitzen se han realizado simulaciones mediante modelos de simulación de cultivos (DSSAT, STICS). Dichos modelos incorporan los efectos que tienen en los cultivos el incremento de CO₂, las variaciones en la temperatura y en la precipitación, el fenotipo de los cultivos, el manejo de los culti-

vos, el tipo de suelo, etc., mediante la realización de escenarios *What If?*. Se han simulado el trigo de invierno y la vid (al considerarse cultivos de alta relevancia económica). En la Tabla 4 se presentan las simulaciones que se han realizado en el marco del proyecto para obtener proyecciones de impacto, medidas de adaptación y para evaluar las diversas fuentes de incertidumbre en la cadena de simulación.

Tabla 4. Resumen de los escenarios simulados, manejo y datos de suelo en cada experimento de simulación.

CULTIVO	MANEJO	ESCENARIOS	TIPO DE SIMULACIÓN	FACTOR DE INCERTIDUMBRE (SUELOS)
Trigo de invierno	Secano	Control, A2	Impacto	Suelo PRUDENCE
	Regadío	Control, A2	Impacto	Suelo PRUDENCE
Vid	Riego observado	Control, A2	Impacto	Suelos CAPV
	Riego observado	A2	Adaptación	Suelos CAPV
	Sin limitación de agua	A2	Adaptación	Suelos CAPV

Trigo: se ha elegido un cultivar tipo representativo del trigo de invierno, con características similares a las variedades Marius, Soisson y Cezanne. Siembra -30 de octubre, riego- seco y regadío (sin limitación de agua). **Vid:** se ha definido como cultivar representativo el «tempranillo». Manejo: riego de 150 mm a partir de enero (mes de julio a principios de agosto) repartidos en riegos cada 4-6 días. **Suelos:** los del proyecto PRUDENCE vs. SUELOS CAPV, para poder conocer la sensibilidad de los modelos con mapas de mayor resolución al utilizar la información de perfiles reales de suelo (con los que se han definido las unidades cartográficas de la CAPV).

Los datos climáticos para las simulaciones fueron los generados por PRUDENCE, con una resolución de 50 km. Las simulaciones de control corresponden al período 1961-1990, y las de cambio climático a los escenarios de emisiones A2 y B2 del IPCC (SRES) de 850 y 600 ppm de CO₂ respectivamente. Se han utilizado los nueve RCMs⁷, anidados en el *Atmospheric General Circulation Models* (AGCM) del *Hadley Centre*, HadAM3H. Este conjunto de modelos ha permitido la construcción de un *multi-model ensemble of climate* que va a permitir evaluar la incertidumbre de las proyecciones obtenidas.

En relación a los modelos, se ha detectado la gran sensibilidad de los mismos al sistema cultivo-clima-suelo, por lo que se ha aumentado la resolución de las salidas de los modelos de simulación mediante la utilización de cartografía de suelos elaborada a partir de la recopilación y georreferenciado de la analítica existente, y con la que se han definido unidades cartográficas tipo (profundidad de los horizontes, textura, porcentaje de materia orgánica, etc). En la figura 27, se muestra un esquema de la metodología empleada (esquema de la cadena de simulación) y las unidades cartográficas definidas para los suelos de la Rioja Alavesa.

7 HIRHAM (Danish Meteorological Institute), PROMES (Universidad Complutense de Madrid, Spain), RegCM (CINECA, Italy), CHRM (Climate Research ETH, Switzerland), CLM (GKSS Research Centre, Germany), RCO (SMHI Rosby Centre, Swedish Meteorology and Hydrology Institute), RACMO (Royal Dutch Meteorological Institute), HadRM3H (Hadley Centre, UK) and REMO (Max Planck Institute, Germany)

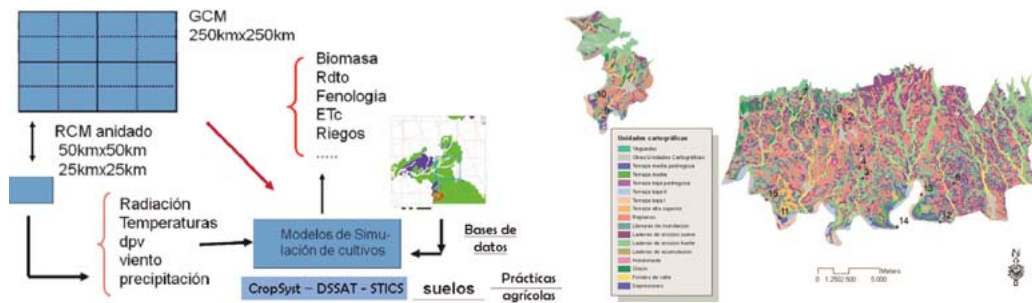


Figura 27. Esquema GCM-RCM-Modelo de simulación de cultivo a través de un sistema de información geográfica que incorpora la información del suelo. En cada polígono de suelo los modelos de simulación de cultivos o de impactos toman los outputs de clima de la celda correspondiente a dicho polígono y simulan los impactos o adaptaciones. Modificado de Guereña *et al.* *Agronomy J.* 2001; Minguez *et al.* *J. Physique*, 2004). Unidades cartográficas para los suelos de la Rioja Alavesa (cada unidad está definido por el perfil o los perfiles que se consideran representativos de la misma: profundidad, % materiaa orgánica, textura, etc.). Modificado de Barrios, A. 1994.

Los resultados de impacto obtenidos en el proyecto se muestran a través de mapas de variación del rendimiento, de forma que valores superiores a 100 indican aumento de rendimiento y los inferiores a 100, descensos. Los resultados de incertidumbre se muestran mediante un mapa de coincidencias en el signo del impacto entre los nueve miembros del ensemble utilizados. Para el trigo de invierno, en un escenario de disponibilidad de agua, los resultados de las proyecciones realizadas muestran una tendencia consistente de aumentos en los rendimientos (con una incertidumbre de las proyecciones muy baja). Las simulaciones que dan aumentos de rendimiento más moderados son las realizadas por 5 modelos climáticos, mientras que 4 modelos proyectan aumentos de más del 50%, con zonas donde se duplicarían los rendimientos. Sin embargo, cuando se realizan las simulaciones en condiciones de limitación de agua, se observa que: en seco la influencia del suelo en el modelo es mucho mayor debido a la capacidad de retención de agua en el perfil. La incertidumbre es mayor ya que se observa que en 4 de los 9 modelos la respuesta en seco y regadío es muy similar (estos modelos dan un mayor peso a la temperatura que a la precipitación), en tres de los modelos estudiados la respuesta es muy distinta a la obtenida cuando se realiza la simulación sin restricción de agua (en este caso es la precipitación la que determina la respuesta), y dos presentan una respuesta similar con diferencias puntuales importantes. El hecho de que cuatro miembros de 9 estén en el primer caso y 2 en el tercero, apunta a que las temperaturas tienen una gran influencia, posiblemente mayor que la precipitación, en los impactos de los cultivos de invierno, es decir, el periodo de noviembre a junio (Figura 28).

En cuanto al rendimiento de la vid, aunque el rango de impactos es similar al del trigo, los modelos de simulación han mostrado una incertidumbre alta en la mayor parte de la Rioja Alavesa. Así, 5 de los modelos predicen impactos positivos de hasta el 200%, mientras que 3 de los modelos predicen impactos claramente negativos. Sin embargo, se debe considerar que los dos modelos que mejor simulan la estacionalidad proyectan tendencias de aumento de rendimiento (Figura 28).

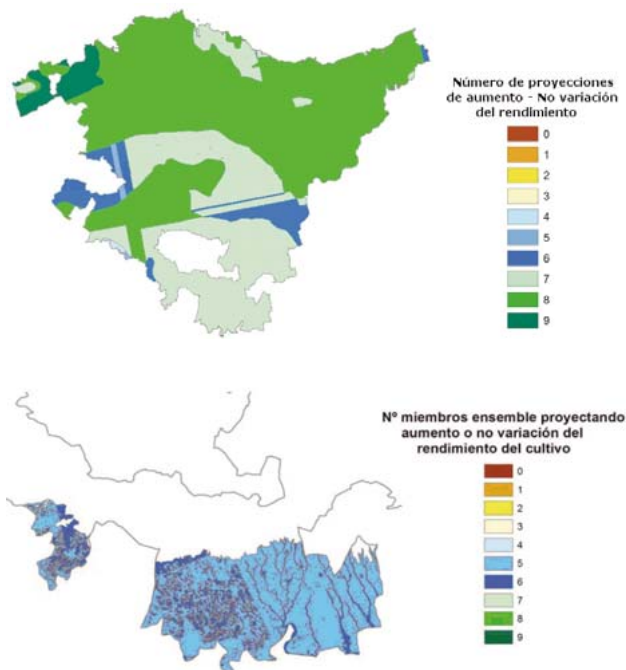


Figura 28. Incertidumbre en el signo de las tendencias medias de impacto para el trigo de invierno-secano y para la vid. El color rojo representa coincidencia de proyecciones de rendimientos decrecientes, mientras que el color verde indica coincidencia de proyecciones de rendimientos crecientes. Los otros colores representan áreas donde algunos miembros del ensemble proyectan impactos positivos mientras que otros negativos. Es decir, los ítems 4 y 5 son de alta incertidumbre pues la mitad dan un signo de impacto y la otra mitad el signo opuesto. Tomado de la Herramienta de Ayuda a la Toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los impactos y adaptaciones al cambio climático en los sistemas agrícolas del País Vasco, realizado por Neiker-Tecnalia, la Universidad de Castilla la Mancha (UCLM) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). AGROCLIMA-SSP-CAPV v.1.0 y AGROCLIMA-SSP-CAPV v.2.0.

En relación a los parámetros cualitativos de la vid, los efectos provocados por el incremento de la temperatura y la reducción en la pluviometría serán entre otros: el aumento del grado alcohólico, una disminución de la acidez total, la pérdida de aromas, el envejecimiento acelerado y la reducción del vigor y del rendimiento.

En el caso del aumento del grado alcohólico, se ha analizado la variación en el contenido de azúcar en la baya (expresado como porcentaje de la materia fresca). Aunque de pequeña magnitud (105%), se ha obtenido una proyección positiva del contenido de azúcar en los 9 modelos simulados. Habrá que determinar el umbral de variación a partir del cual se considere que existe un descenso de calidad, ya que pequeñas variaciones en este parámetro pueden suponer grandes impactos.

En este sentido, el efecto más claro producido por el aumento de la temperatura, en los últimos años, es el desequilibrio que se está encontrando entre el grado probable (contenido de azúcar) y la madurez fenólica (concentración de antocianos, índice de polifenoles totales e índice de color) obtenida en el momento de la vendimia: se está adelantando la fecha de vendimia ya que se está alcanzando antes el contenido de azúcar que la define (13,5^o). Como consecuencia, no se alcanza la madurez fenólica adecuada lo que supone un riesgo para la calidad del mosto debido al exceso de graduación. Este desfase supone un reto para los elaboradores dado que el consumidor prefiere vinos de aromas intensos, taninos maduros y menor grado alcohólico. Por el contrario, si se define la fecha de la vendimia según la madurez fenólica, se atrasaría la

misma incrementándose el riesgo ante posibles enfermedades (como por ejemplo Botritis), dado que en las fechas cercanas a la vendimia suelen ser habituales las precipitaciones que junto con temperaturas elevadas hacen que las condiciones sean óptimas para el ataque de diversos hongos.

En relación a la acidez total, el aumento de la temperatura conllevará una mayor degradación del ácido tartárico disminuyendo la acidez total, afectando negativamente sobre la calidad de los vinos lo que agravará el problema de baja acidez de los vinos de la Rioja Alavesa. Es decir, los vinos tendrán mayor grado alcohólico con elevado pH y menor acidez total.

A partir de los estudios realizados se definen las siguientes medidas de adaptación:

1. Búsqueda o selección de variedades y cultivares más resistentes o robustas frente a los eventos climáticos extremos, salinidad, plagas y enfermedades así como a la menor disponibilidad hídrica que se prevé para el futuro en las áreas que potencialmente sean más sensibles al cambio climático. En los estudios, se ha puesto de manifiesto cómo la selección de cultivares que poseen una mayor eficiencia en el uso de agua (caso del cv. *Iranis* vs. *Alpha* en el caso de la cebada), puede ayudar a adaptar al cultivo de esa especie a una situación climática cambiante como la futura, logrando mayores niveles de producción. Asimismo, los estudios han demostrado que hay cultivares que responden mejor a la salinidad que otros (*Iranis* vs. *Alpha*). En estas condiciones, su menor consumo de agua y la mayor eficiencia en su uso permitirían la utilización de suelos con mayor concentración salina para el cultivo de cebada, lo que conllevaría al aumento del área disponible para su cultivo.
2. Mejora de las prácticas agrícolas para conservar los niveles de fertilidad y humedad del suelo: laboreo de conservación, laboreo mínimo, utilización de fertilizantes orgánicos y reciclado de residuos. Todas estas técnicas revierten en la conservación del suelo (y del carbono asociado), en el aumento del carbono edáfico y en la disminución del uso de combustibles fósiles (menor utilización de maquinaria o de fertilizantes inorgánicos). En concreto, en el marco del proyecto se propone la utilización de fertilizantes de liberación lenta basados en el uso de inhibidores de la nitrificación, los cuales inducen la nutrición amoniacal en las plantas y aumentan su eficiencia en el uso del nitrógeno, al reducir la lixiviación de nitrato a las aguas y la emisión de gases nitrógenados a la atmósfera. Además, los estudios realizados con tomate y con trigo indican que este tipo de fertilización aumenta la eficiencia en el uso del agua de ambas especies, lo que aportaría a las plantas una ventaja adaptativa a las condiciones previstas de disminución de la precipitación y aumento de la evapotranspiración. En el caso del trigo, se ha observado que la fertilización amoniacal produce, además del mencionado incremento en la eficiencia en el uso del agua, un aumento en el contenido de nitrógeno total del grano, y específicamente de la fracción proteica de gliadinas, y en consecuencia una notable mejora de la calidad harinopañadera de la harina.
3. Realización de una zonificación agroecológica de la CAPV según la vulnerabilidad de las diversas zonas del territorio a los efectos del cambio climático. Habrá que adaptar los manejos de algunos cultivos: cambios en las fechas de siembra y recolección, cambios en las rotaciones, cambios en la

fertilización y en el tratamiento con fitosanitarios, etc. Esta zonificación nos facilitaría una herramienta de gestión de los cultivos.

4. Introducción de nuevos cultivos. Debe abordarse desde un punto de vista agroecológico integral, incluyendo junto a los clásicos factores agronómicos estrictos y los económicos (viabilidad técnico-económica), los factores de incidencia sobre el agrosistema (paisaje, biodiversidad y fertilidad del suelo), sobre la estabilidad de la población rural y la seguridad alimentaria. A la hora de seleccionar los cultivos hay que tener en cuenta las diferencias existentes entre los grupos funcionales, con diferente estrategia de secuestro de carbono (plantas C3: cebada, frente a plantas C4: sorgo).
5. Cultivos energéticos: cultivo de especies para la obtención de energía ya que este tipo de cultivos presentan una buena adaptación para su desarrollo en terrenos no utilizados para la producción de alimentos y tienen una alta eficiencia en el uso del agua. En este sentido, los estudios han demostrado la viabilidad del cultivo de la colza para producción de biodiesel en la CAPV, habiéndose obtenido un balance positivo entre el calentamiento global producido por las emisiones de N_2O debidas a la fertilización del cultivo y el calentamiento ahorrado en forma de CO_2 fósil no emitido a la atmósfera como consecuencia de la producción de biodiesel.
6. Desarrollo de una herramienta de ayuda a la toma de decisiones políticas, (Scientific Support to Policies, SSP) de adaptación al cambio climático en el sector agrícola y medioambiental de la CAPV (Figura 29). En el proyecto se ha elaborado las herramientas AGROCLIMA-SSP-CAPV v.1.0 y AGROCLIMA-SSP-CAPV v.2.0, que incorpora los resultados obtenidos hasta la fecha y queda abierta para la inclusión de los que se obtengan en fases posteriores del proyecto. En la herramienta se han incorporado las primeras simulaciones realizadas para obtener proyecciones de adaptación para la vid.
 - i. ADAPT-01: se adelanta el periodo de riegos en un mes en el escenario A2, con la misma dotación y frecuencia que la actual. Los impactos obtenidos con esta simulación mantienen el mismo signo del impacto para todos los miembros, empeorando su magnitud en la mayor parte de los casos. Por tanto, el adelanto de riego debido al calendario fenológico no se ha realizado con un buen ajuste temporal o simplemente es insuficiente en cuanto a dotación de agua total. Para aclarar este punto, se plantea la siguiente adaptación, ADAPT02, sin limitación de agua.
 - ii. ADAPT-02: simulación realizada para comprender el papel del riego en el impacto. Ningún miembro del ensemble da descensos de rendimiento en toda la región cualquiera que fuera el tipo de suelo (como era el caso de las simulaciones con riego aplicado durante 1-1.5 meses). La disponibilidad hídrica en combinación con el tipo de suelo aparece como un factor importante en la determinación del impacto.
 - iii. El hecho de que las proyecciones mejoren respecto a las simulaciones de partida y respecto a la ADAPT01, nos indica que hay que seguir testando otras opciones de manejo hídrico, como puede ser el adelanto de la fecha de riegos pero manteniendo la fecha de finalización actual, explorando situaciones intermedias entre ADAPT01 y ADAPT02.

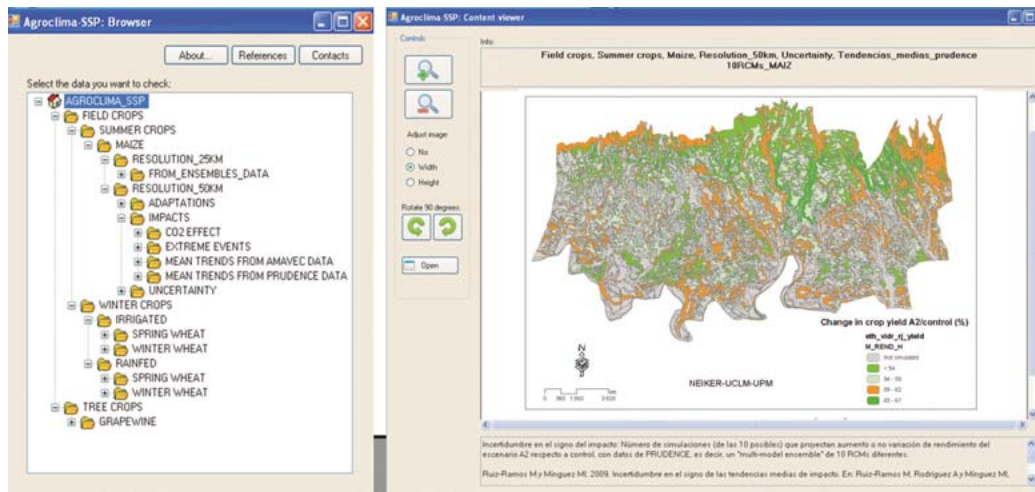


Figura 29. Detalle de la herramienta de ayuda a la toma de decisiones políticas generada a lo largo del proyecto K-Egokitzen-I. AGROCLIMA-SSP-CAPV v.1.0 (Ruiz-Ramos *et al.*, 2010).

1. Implementación de sistemas de riego que posibiliten un mejor uso de los recursos del agua a través de la utilización de los sistemas de riego adecuados para cada cultivo y zona de producción, así como reducir el potencial déficit de agua para fines agropecuarios.
2. Implementación de un sistema de plagas y enfermedades: reducir los efectos de la contaminación del suelo y de las aguas superficiales, que se producirá por el uso indiscriminado de pesticidas y herbicidas, cuya aplicación está sujeta a los rendimientos decrecientes debido a las plagas y enfermedades, lo que hace necesario una aplicación cada vez mayor para amortiguar su efectos y por ende aumentar la productividad de los cultivos. Un sistema adaptado a cada zona y para cada cultivo, incluyendo la rotación de cultivos, la siembra de variedades resistentes, el uso de semillas certificadas y la aplicación de agroquímicos en las épocas oportunas.
3. Desarrollo de técnicas de adaptación biológica, (micorrización, etc.).

Posibles medidas de adaptación para luchar contra el cambio climático en el caso concreto de la vid:

1. Cambio en las variedades y en los patrones. Ante el incremento de la temperatura una de las soluciones es la sustitución de variedades actuales por variedades que se adecuen mejor a temperaturas más elevadas como pueden ser las variedades Merlot y Syrah (Jones *et al.*, 2006).
2. Para evitar los efectos indeseables de una tensión hídrica excesiva, es necesario modificar el manejo de la vid.
3. Zonificación de los viñedos en función del suelo y su relación con la calidad del vino. Así, en los suelos someros con poca capacidad de retención de agua la producción es menor que en los suelos pro-

fundos. De la misma manera las condiciones para la obtención de una mejor maduración son más adecuadas en este tipo de suelo siempre que se cuente con sistemas de riego para los años excesivamente secos. Por tanto, según el tipo de suelo se podrían definir los objetivos vitivinícolas: en suelos someros: viñedo sin riego, con pequeños rendimientos pero produciendo vinos de gran calidad, con coste de producción elevado pero de gran valoración. En los suelos profundos: un viñedo agroindustrial para vides precoces, sin riego o muy poco, a bajo coste de producción (Unamunzaga, 2010).

4. Riego. Se realizará un riego deficitario, que permite producir uvas de calidad con riego bajo clima seco con el objetivo de evitar la aparición de un déficit hídrico severo. Pero a la hora de diseñar el riego hay que tener en cuenta que los recursos hídricos serán limitados, que aumentará el coste de producción (sobre todo con la tendencia de limitación de rendimiento actual), que el riego no entra dentro del concepto de agricultura sostenible y que se originarán problemas de salinidad en los suelos. Por otro lado, aplicaciones de riego en el momento de maduración pueden ayudar a mejorar la síntesis de los polifenoles mejorando la madurez fenólica.
5. Cambio en los sistemas de conducción. La vid formada en espaldera ofrece más posibilidad de mecanización pero ofrece más superficie foliar, con lo que aumenta la demanda de agua que se suma a la previsible por el cambio climático. Por ello, habría que dirigirse a otro sistema de conducción como el vaso, perfectamente adaptado a las condiciones de sequía. En caso de continuar con la espaldera vertical sería recomendable reducir la altura de follaje de las espalderas y reducir los rendimientos para aumentar la eficiencia hídrica. Además, a la hora de elegir el sistema de conducción se deberá tener en cuenta la calidad del vino que se pretende obtener y por tanto los costes de producción.
6. Marco de plantación. Teniendo en cuenta que el calentamiento climático producirá diferentes consecuencias en función del área agroclimática considerada, la estrategia a seguir deberá estar adaptada a cada zona concreta. Así, en aquellas zonas en las que se estima una reducción problemática de la disponibilidad de agua, será conveniente disminuir la densidad de plantación y superficie foliar asociada. Sin embargo, en áreas donde no se prevea déficit hídrico (cornisa cantábrica), la estrategia a seguir será un incremento en la densidad de plantación con el fin de disminuir el vigor unitario y mantenerse en los niveles de rendimiento ideales para una producción de calidad.

Con respecto al **sector forestal**, con el objetivo de estudiar el posible impacto del cambio climático en la distribución de algunas especies, se han realizado simulaciones que muestran la posible distribución del nicho potencial en años futuros (2020, 2050 y 2080). Para ello se han utilizado dos modelos que utilizan algoritmos diferentes en sus predicciones; GARP (*Genetic Algorithm for Rule-Set Prediction*) y MAXENT (*Maximum entropy algorithm*). De este modo se obtiene información cartográfica del espacio geográfico que reúne las condiciones ambientales capaces de mantener poblaciones viables de las especies forestales modelizadas en diferentes tiempos futuros y bajo condiciones de cambio climático. A continuación se muestra el esquema de la metodología empleada (Figura 30).

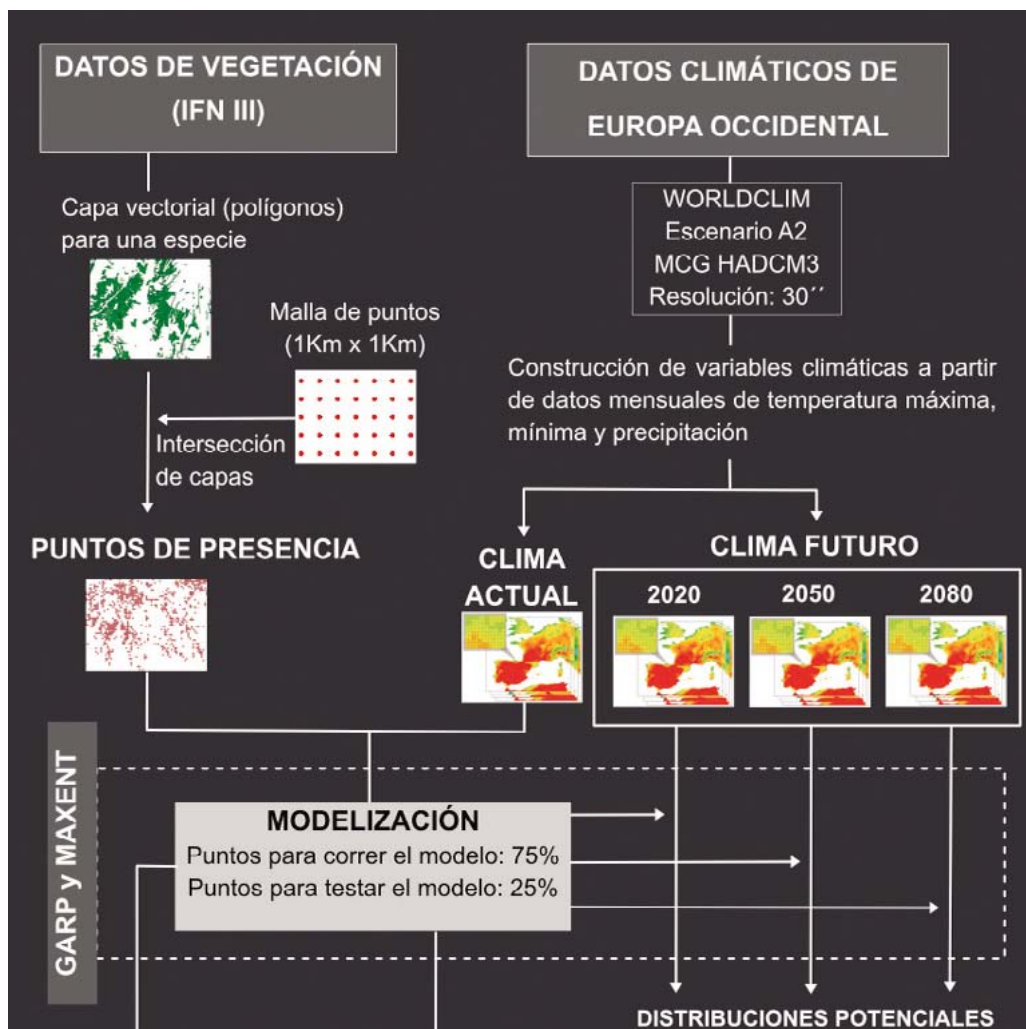


Figura 30. Esquema metodológico empleado en la obtención de distribuciones de nicho potencial de especies forestales. (Ejemplo para *Q. pyrenaica*).

Los resultados obtenidos, predicen un impacto significativo sobre el escenario forestal en la CAPV, ya que en el caso de las especies estudiadas, muestran una clara tendencia a la disminución de su hábitat potencial en nuestro territorio (*Q. robur*, *F. sylvatica*, *Q. petraea*), para ser sustituidas por especies mediterráneas (*Q. suber*), aunque también se ha observado, que es posible que especies que se encuentran en la CAPV actualmente, quizá puedan mantener poblaciones debido a que su distribución actual, se extiende en la región mediterránea (*Q. pyrenaica*). Estos resultados deben ser considerados con cautela, ya que los modelos predicen la distribución de los nichos potenciales en cuanto a variables bioclimáticas, y existen más factores

que condicionan la distribución de una especie. Por ello, la distribución del nicho potencial no coincide con la distribución real en toda su extensión. Sin embargo, ofrecen una información valiosa que se pretende ampliar incorporando más especies y optimizando, de forma continua, los modelos y la metodología a medida que avance este estudio.

Como resultado del proyecto se han generado fichas para cada especie simulada, donde además de explicarse la metodología utilizada, se presenta la evolución del nicho potencial para cada especie (años 2000, 2020, 2050 y 2080). En la Figura 31 se muestra la ficha para el *Q. robur*. Se podrían encontrar el resto de las especies simuladas, así como sus respectivas fichas, en la página Web oficial del proyecto.

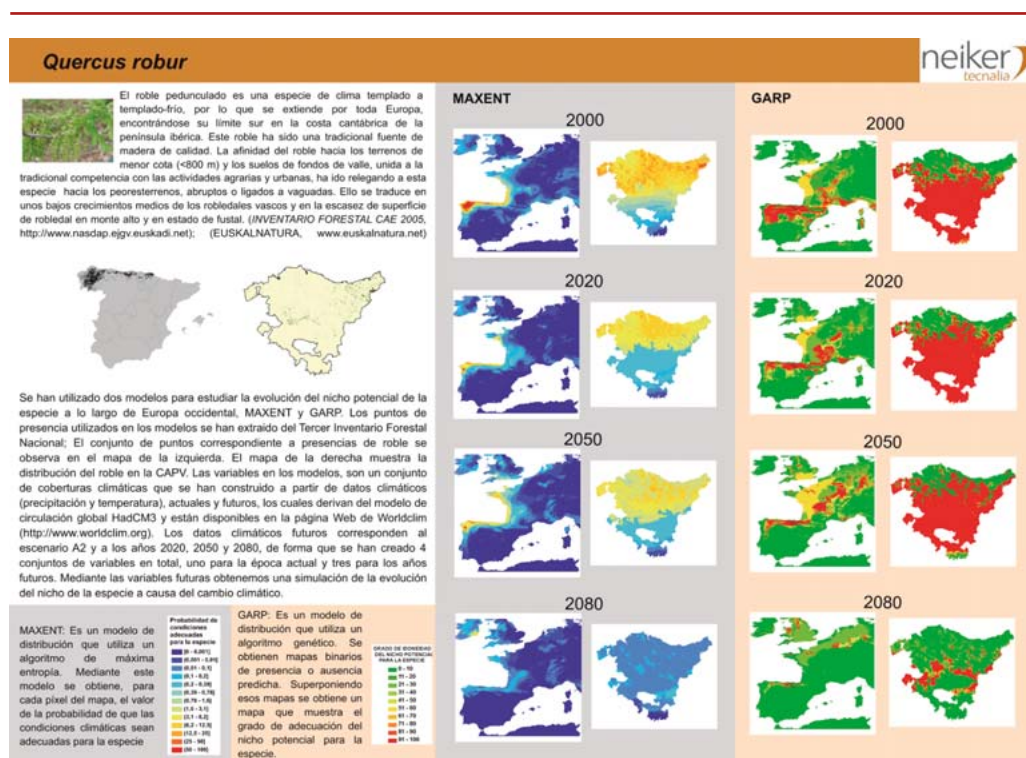


Figura 31. Ficha generada para el *Q. robur*, donde se explica la metodología utilizada y la evolución del nicho potencial de la especie. *Q. robur*. Además de ser una especie emblemática, el País Vasco es el límite meridional actual de Europa para dicha especie.

En lo que respecta a los bosques, la variación prevista en las precipitaciones y el aumento térmico podrían, a priori, facilitar la «mediterraneización» de los ecosistemas forestales del País Vasco, comportando cambios en la distribución de tipos de bosques, especies y comunidades, así como cambios en la composición específica de los mismos. Para obtener información científica necesaria que permita modelizar los cambios

con precisión, se ha estudiado la relación entre factores climáticos y el crecimiento de robles pedunculados (*Quercus robur*) y melojos (*Quercus pyrenaica*) a través de la dendrocronología. El análisis realizado muestra diferencias locales en la respuesta de los robles, el efecto de los factores climáticos en el crecimiento varió en las dos zonas estudiadas, Bertiz e Izki. En Bertiz, ambas especies mostraron un crecimiento óptimo con ciertos valores de humedad y temperatura, por debajo y encima de los cuales el crecimiento disminuyó. Asimismo, el aumento de la humedad disponible y de la temperatura durante el invierno limitó el crecimiento de ambas especies. Por otro lado, la subida de las temperaturas en primavera y en otoño favoreció el crecimiento de *Q. pyrenaica* aunque no el de *Q. robur*. En Izki *Q. robur* sólo se establece en aquellas zonas compensadas edáficamente por lo que su crecimiento no está tan limitado por los factores climáticos, mientras que el crecimiento de *Q. pyrenaica* está limitado por la humedad disponible y la temperatura. El descenso de la humedad disponible y el aumento de la temperatura limitan su crecimiento de forma muy acusada.

En general, se espera que para el sector forestal el aumento de la temperatura media, la disminución de la precipitación anual y el incremento de episodios climatológicos extremos, unido al incremento de la concentración de CO₂ atmosférica, tengan los siguientes efectos:

1. Se puede esperar que el cambio climático tenga un efecto fundamental sobre las propiedades y procesos del suelo y un impacto directo sobre los recursos hídricos.
2. El calentamiento global podría causar una pérdida a largo plazo de las reservas de carbono del suelo, debido a una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo. No obstante, la previsible disminución en las precipitaciones podría causar el efecto contrario. Esto puede provocar que en un futuro los bosques inviertan su papel de sumideros para transformarse en emisores netos de carbono a la atmósfera, retroalimentando el calentamiento global.
3. En el sector primario, la explotación forestal podría ver alterado su periodo productivo, aspecto que puede afectar a la rentabilidad económica de determinadas especies. La fisiología de las especies forestales puede verse profundamente afectada. Así, los caducifolios alargarán su ciclo vegetativo, es decir se incrementará la duración de las hojas en las especies arbóreas de hoja caduca, lo que incrementará la producción. En el caso de las especies perennifolias, se producirá una disminución de la vida media de las hojas, lo que puede suponer un incremento en la producción de hojarasca y del CO₂ devuelto a la atmósfera. La renovación foliar y de las raíces finas de los perennifolios se acelerará, disminuyendo así las reservas de la planta e incrementando su vulnerabilidad ante episodios adversos.
4. El cambio en el régimen de precipitaciones podría incrementar el grado de erosión potencial de los suelos. Además, se prevé un aumento de las inundaciones durante el invierno de forma que los suelos estarán más húmedos y se reducirá la transitabilidad, aumentando el riesgo de daño y, de nuevo, la erosión del suelo. Se puede además, reducir la supervivencia y la estabilidad de las raíces. Se considera probable un aumento de la frecuencia y la severidad de las sequías de verano, lo que podría poner en peligro la salud de los árboles y su supervivencia.

5. El previsible aumento de episodios extremos (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.) incrementará de manera significativa el volumen anual de madera dañado por perturbaciones naturales en la CAPV.
6. Además, el cambio climático puede alterar el equilibrio entre las plagas de insectos, sus enemigos naturales y sus hospedadores, siendo por lo tanto difícil realizar predicciones sobre los efectos del cambio climático en los daños causados por insectos en los bosques. Uno de los efectos más importantes puede ser la alteración de la sincronía entre el huésped y el desarrollo de la plaga, tanto en primavera como en otoño. El aumento previsto de la temperatura también favorecerá, en general, el desarrollo del insecto y su supervivencia durante el invierno como consecuencia de temperaturas más benignas.

Vistos los impactos, las medidas de adaptación que se proponen para el sector forestal son las siguientes:

1. Parece necesario un cambio en el paradigma de producción forestal, encaminando la gestión al mantenimiento de todos los bienes y servicios que las masas forestales aportan a la sociedad y no únicamente de aquéllos que tradicionalmente han proporcionado beneficios económicos.
2. Los cambios en el suelo y en el agua que se consiguen gracias a la forestación y a la gestión forestal pueden ser mayores a los que se espera que se produzcan por el cambio climático. Por lo tanto, el manejo de las masas forestales de manera adecuada y el desarrollo de la oferta de buenas prácticas deja margen para mejorar los efectos del cambio climático.
3. Un aumento en la heterogeneidad de las masas, desde rodales monoespecíficos coetáneos a otros mixtos y heterotáneos, aumentará la resistencia y resiliencia de las masas frente a episodios catastróficos derivados del cambio climático.
4. Un manejo forestal adecuado puede ayudar a promover la retención del carbono del suelo y a reducir el riesgo de erosión mediante una selección de especies adecuadas al cambio de clima y gracias a la adopción de prácticas que incrementan la productividad y la capacidad protectora de los bosques para reducir, de esta manera, las pérdidas de carbono.
5. El aumento del riesgo de estrés hídrico requerirá mayor atención a la selección de árboles con un uso más eficiente del agua y la necesidad de una mejor planificación de la gestión de las cuencas hidrográficas.
6. Es probable que aumenten las oportunidades para la restauración de bosques de ribera, con posibles beneficios concomitantes de control de inundaciones.
7. Desarrollo de modelos predictivos y de ayuda en la toma de decisiones para orientar la planificación de la gestión forestal.
8. Evitar la desaparición de áreas específicas de acumulación de carbono como turberas y humedales. Si bien no ocupan una fracción importante de la superficie del territorio, son áreas de interés natural cuyo futuro es incierto en un escenario de cambio climático.

9. Se deben establecer redes de monitorización en las que se observe de manera efectiva el efecto del cambio climático sobre especies y ecosistemas amenazados, a partir de las que se deben poder identificar y establecer áreas potenciales para la conservación de especies de interés, así como poder desarrollar un plan de conectividad que contemple los efectos del cambio climático y asegure la existencia de redes conectivas que permitan a las especies desplazar su hábitat en altitud o latitud hacia áreas más propicias para su desarrollo.
10. Desarrollar, investigar herramientas de gestión (micorrización, selección genética; mejora de la capacidad productiva de los suelos, etc.) que permitan el desarrollo de los ecosistemas de manera adecuada. En ensayos realizados con hongos ectomicorrízicos simbiotes de especies arbóreas, se han seleccionado *Scleroderma citrinum* y *Rhizopogon roseolus* como los más prometedores a la hora de activar el crecimiento de *Pinus radiata*, especialmente en condiciones de menor disponibilidad hídrica. Asimismo, en un escenario de cambio climático, en el que se prevé una mayor incidencia de enfermedades causadas por hongos patógenos, los hongos ectomicorrízicos mejoran la resistencia de *Pinus pinaster* a la infección por *Fusarium circinatum*. En el caso de programas de mejora genética, se están estudiando procedencias de material forestal mejorado de *Pinus radiata* que mejor se comportan frente a las condiciones adversas.

En el caso de la producción primaria de los **pastos de montaña**, resulta difícil concluir el impacto que causaría el descenso esperado en la disponibilidad hídrica asociada al cambio climático, ya que el crecimiento vegetal (producido por fotosíntesis) no sólo depende del agua disponible, sino también de la concentración de CO₂ en el ambiente. Así, por una parte, una menor disponibilidad hídrica durante el periodo de pastoreo influiría en una menor producción primaria aérea (menos cantidad de forraje, y por lo tanto una reducción en la capacidad de carga), un marchitamiento acelerado del pasto y consecuentemente una pérdida de calidad nutritiva, y problemas de abastecimiento de agua para el ganado (puntos de agua y abrevaderos secos). Todo ello conllevaría cambios imprevisibles de uso y selección del territorio por parte de los animales, modificaciones en la competencia entre distintas especies y reajustes en el reparto de los recursos tróficos. Pero, por otra parte, se obtendrían mejores producciones que las esperadas a concentraciones de CO₂ actuales, dada la interacción existente entre concentración de CO₂ y disponibilidad hídrica en el crecimiento de las plantas estructurales de los pastos de montaña (gramíneas y leguminosas herbáceas), que conlleva que en una situación de estrés hídrico un aumento del CO₂ produzca un incremento en la productividad primaria aérea.

Esto nos lleva a valorar los posibles cambios en la capacidad de carga de los pastos de montaña. Cabe destacar que, según se observa en la Figura 32 en zonas no pastadas donde predominan las gramíneas, la producción primaria aérea depende mucho más de la disponibilidad hídrica. Además, es necesario resaltar que en condiciones de disponibilidad hídricas limitantes (-0,50 -0,20) se obtienen producciones similares tanto en zonas pastadas como en las no pastadas. Este hecho nos conduce a pensar que en un futuro próximo descenderá la capacidad de carga de los pastos de montaña, ofreciendo menos cantidad de hierba pero de

mejor calidad, y por tanto más favorable y mejor adaptado al aprovechamiento por parte del ganado ovino. Por el contrario, el ganado mayor, sobre todo el vacuno, será el más perjudicado en estas condiciones y será necesario reducir la carga actual.

Por consiguiente, y como medida de adaptación al cambio climático, se propone la utilización del modelo de predicción de la producción primaria aérea de los pastos de montaña en relación con la disponibilidad hídrica y el efecto del pastoreo, que se ha desarrollado a lo largo del proyecto, como herramienta para la toma de decisiones a la hora de desarrollar planes de gestión adaptados a la producción, la calidad y capacidad de carga de los pastos de montaña.

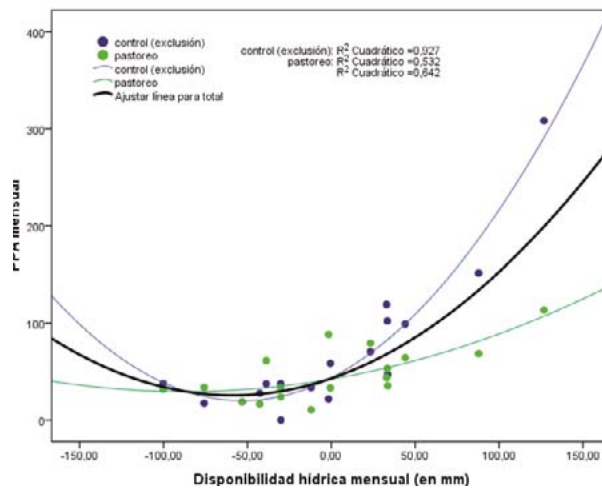


Figura 32. Modelado de la dinámica de producción. Efecto de la disponibilidad hídrica y el pastoreo sobre la producción primaria aérea.

REFERENCIAS

AGROCLIMA-SSP-CAPV v.1.0: *Herramienta de Ayuda a la toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los impactos y adaptaciones al cambio climático en los Sistemas Agrícolas del País Vasco*. Autores: Margarita Ruiz-Ramos (MOMAC-AGSYSTEMS), M. Inés Mínguez Tudela (AGSYSTEMS). Contribuyentes-Equipo Investigador: por parte Del MOMAC han participado: Manuel de Castro, Marta Dominguez, Miguel Angel Gaertner, Enrique Sánchez y Alfredo Rodríguez y Esther Sánchez. Por parte de NEIKER-Tecnalia han participado: Oscar Del Hierro, Miriam Pinto, Ana Aizpurua y Gerardo Besga.

AGROCLIMA-SSP-CAPV v.2.0: *Herramienta de Ayuda a la toma de Decisiones Políticas (Scientific Support to Policies) sobre los Impactos y Adaptaciones al cambio climático en los Sistemas Agroforestales del País Vasco*. Autores: Margarita Ruiz-Ramos (MOMAC-AGSYSTEMS), M. Inés Mínguez Tudela (AGSYSTEMS). Contribuyentes-Equipo Investigador: por parte Del MOMAC han participado: Manuel de Castro, Marta Dominguez, Miguel Angel Gaertner, Enrique Sánchez y Alfredo Rodríguez y Esther Sánchez. Por parte de NEIKER-Tecnalia han participado: Oscar Del Hierro, Miriam Pinto, Ana Aizpurua y Gerardo Besga.

Barrios A. (1994). *Mapa de Suelos de La Rioja Alavesa*. E: 1/50000. Departamento de Agricultura de la Diputación Foral de Álava. Servicio de Estudios y Relaciones Comunitarias. Vitoria-Gasteiz. España.

Guereña A., Ruiz-Ramos M., Diaz-Ambrona C.H., Conde J.R., Minguez M.I. (2001). *Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models*. Agron J 93:237–249.


Jones G.V. (2006). *Climate and Terroir: Impacts of climate variability and change on wine*. En: Macqueen, R. W., y Meinert, L.D. (ed.). *Fine Wine and Terroir- The Geoscience perspective*. Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John´s. Newfoundland, Canada.

Mínguez M.I., Ruiz-Ramos M., Díaz-Ambrona C.H., Quemada M. (2004). *Productivity in agricultural systems under climate change scenarios*. Evaluation and adaptation. Journal de Physique IV, 121: 269-281.

Pérez-López U., Robredo A., Lacuesta M., Mena-Petite A., Muñoz-Rueda A. (2009). *The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO₂*. Environmental and Experimental Botany 66: 463-470.

Robredo A., Pérez-López U., Sainz de la Maza H., González-Moro B., Lacuesta M., Mena-Petite A., Muñoz-Rueda A. (2007). *Elevated CO₂ alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis*. Environmental and Experimental Botany, 59: 252-263.

Unamunzaga O. (2010). *Zonificación de un viñedo de Rioja Alavesa según las propiedades del suelo y su influencia sobre producción y calidad*. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza.

A series of overlapping, wavy white lines of varying thicknesses and colors (ranging from light to dark red) are scattered across the middle of the page, creating a sense of movement and depth. A vertical dotted line is positioned in the top right corner, and a horizontal dotted line is at the bottom of the page.

Conclusiones y perspectivas de futuro

Conclusiones y perspectivas de futuro

Según los primeros resultados de los modelos disponibles⁸ elaborados por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, para la zona del País Vasco y para finales del s. XXI se espera un aumento de las precipitaciones en invierno y disminución en verano debido al cambio climático, lo que se traduce en una reducción anual de las mismas de entre un 15 y un 20%. Las temperaturas máximas extremas a fin de siglo podrán subir entre 1,5 °C y 3,5 °C; y las mínimas extremas entre 1 y 3 °C. Este aumento térmico junto con la variación de la precipitación, se prevé que afecte a los sistemas humanos y naturales.

Además de los cambios en las variables climáticas, se espera que el nivel medio del mar ascienda entre 29 y 49 cm, lo que podrá provocar el retroceso de las playas para finales del siglo XXI e incremento del riesgo de inundaciones en los estuarios.

Basándonos en los impactos detectados, se han identificado las actuaciones prioritarias a fin de adaptar los recursos hídricos, el medio costero y el medio urbano, así como los ecosistemas marinos, terrestres naturales y los sistemas agrarios. Aunque los impactos estudiados tienen todavía gran incertidumbre y es necesario ampliar las investigaciones iniciadas, se pone en evidencia la necesidad y la rentabilidad de acometer acciones tempranas.

Los trabajos llevados a cabo en esta primera etapa del Programa K-EGOKITZEN han supuesto un importante avance en el conocimiento del cambio climático en la CAPV dado que, si bien ya se estaba trabajando de forma puntual en algunos ámbitos por determinados grupos de investigación, el enfoque integral, sistémico y transversal del programa unido al equipo transdisciplinar que ha conformado el equipo de investigación, ha permitido por una parte importantes logros en el conocimiento de los escenarios climáticos a los que nos enfrentaremos en los próximos años, a los impactos directos e indirectos que de estos escenarios se pueden derivar y al avance en el conocimiento de los riesgos y vulnerabilidad de los distintos sistemas y

8 Vg., las proyecciones simuladas según el modelo elaborado para el Tercer Informe de Evaluación del IPCC, y confirmado en el Cuarto Informe. El modelo atmosférico-oceánico, denominado HadCM3, divide la superficie terrestre en celdillas de diferente tamaño sobre las que realiza estimaciones regionales. En función de la latitud, las resoluciones varían. Para latitudes de 45° (aplicable a la CAPV), el modelo presenta una resolución próxima a 300 km (celdilla asociada de 295 km por 278 km). A partir de esta resolución, y empleando distintos escenarios de emisiones IPCC, denominados IPCC SRES (Special Report on Emissions Scenarios), basados en datos socio-económicos (crecimiento población, desarrollo económico, etc.), se presentan hasta 2100 proyecciones de temperatura, precipitación.

sectores afectados, aportando, por otra parte, importantes avances para el apoyo en la definición de líneas y estrategias de futuro en las políticas de adaptación que sea necesario abordar por las distintas instituciones competentes en los distintos sectores estudiados: Medio Urbano e Infraestructuras, Agua, Costas, Biodiversidad, Sector Agrario, Recursos Marinos (Tabla 5).

Estos trabajos deberán continuar su evolución en el futuro, para poder mejorar en la precisión de las predicciones futuras de impactos climáticos, así como su integración con escenarios socio-económicos, de forma que se desarrollen estrategias y medidas de adaptación acordes al impacto y vulnerabilidad futura de los diferentes sistemas estudiados.

Tabla 5. Resumen de los resultados de escenarios, impacto y vulnerabilidad de los distintos sistemas y sectores afectados.

SISTEMA	BAJO CLIMA ACTUAL	BAJO CLIMA FUTURO
VARIABLES CLIMÁTICAS/ OCEANICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento en la temperatura superficial del mar en el periodo 1946-2007: 0.26 °C/década desde 1977. • La velocidad de ascenso del nivel marino durante el siglo XX es de 2 mm/año. • Mayor radiación solar (1,1 W/m² día por década desde 1980). Probablemente se ha producido una mayor transparencia de las aguas y una menor disponibilidad de nutrientes. • Incremento de la temperatura de agua (0,7-1 °C) en estuarios como respuesta al incremento de la temperatura del aire (por cada incremento de 1 °C). Disminución de la concentración de oxígeno disuelto. • Probable disminución del pH del agua de mar (acidificación) lo cual podría explicar el menor crecimiento detectado en las conchas del mejillón. El valor de pH actual en la costa vasca es de 8,3- 8,4. • La aridez y, por tanto, el estrés por déficit hídrico se está incrementando en el sector central del Norte de la Península Ibérica debido al cambio climático. La humedad disponible durante el periodo 1991-2008 fue un 30 % menor que en 1961-1990. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento del mar: 1.5-2.05 °C en los primeros 100 m de profundidad (bajo escenario A1B). • Ascenso del nivel medio del mar: 29-49 cm (bajo escenario A1B). • Incremento de radiación solar estival de 35-40 W/m² día. Mayor penetrabilidad de la radiación solar ante la disminución de las precipitaciones, contaminación y aguas oligotrofas. • Incremento de la temperatura de agua estival (2,1-3 °C) en estuarios. Aumento de la extensión y frecuencia de los periodos de hipoxia/anoxia en estuarios. Mayor producción fitoplanctónica causando episodios más frecuentes de eutrofización de las aguas. • Aumento T° mínima y máxima extrema: 1-3 °C y 3 °C respectivamente (bajo escenario A1B). • Reducción anual de la precipitación: 15-20% (disminución en verano, incremento en invierno) e incremento en la precipitación extrema: 10% (bajo escenario A1B). • Disminución anual de la evaporación: 0.6-0.8 mm/día (bajo escenarios A2 y B2). • Reducción anual en la velocidad de viento: 0.4-0.6 m/s (bajo escenarios A2 y B2). • Aumento anual de la radiación sobre la superficie: 15-20 W/m² (bajo escenarios A2 y B2).

SISTEMA	BAJO CLIMA ACTUAL	BAJO CLIMA FUTURO
RECURSOS HIDRICOS	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencia descendente de caudales medios en invierno y primavera en los últimos 50 años. • Tendencia creciente de los caudales máximos en invierno y primavera. • La mayoría de los sistemas de abastecimientos presentan vulnerabilidad media-alta a cambios en aportaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los escenarios auguran una disminución en el aporte de agua en invierno y primavera (6-13%). • En esta situación, disminuye la garantía de los sistemas de abastecimientos. • Aumenta el caudal pico (20%) y con ello el área inundable (3%), promoviendo un aumento de pérdidas por inundación (15%) para el 2050. • Favorecimiento deslizamientos y coladas de tierra.
MEDIO URBANO	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la esperanza de vida. • Planificación y gestión urbana basada en beneficios económicos a corto plazo. • Crisis económica (construcción). • Aumento de las desigualdades sociales y económicas (grupos vulnerables). • Alta sensibilidad de los medios biofísico, social y económico a inundaciones. • Baja capacidad de respuesta urbana a inundaciones y olas de calor. • Políticas de cambio climático muy centradas en Mitigación. • Carencia de Gobernanza Adaptativa, tanto territorial como urbana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre-envejecimiento de la población, principalmente en entornos rurales. • Aumento de las temperaturas máximas (4-5 °C) y mínimas (3-4 °C) en las capitales de provincias a lo largo del s. XXI. • Las olas de calor serán más largas y calurosas. • 40 municipios de la CAPV en los que reside casi el 80% de la población posiblemente afectados por 2 o 3 de los eventos extremos climáticos. • Aumento de la morbilidad y mortalidad por olas de calor.
ZONA COSTERA	<ul style="list-style-type: none"> • Retroceso de playas y marismas posiblemente como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar. • Transformación de hábitats naturales del litoral por impacto antropogénico, especialmente urbanización (98 hectáreas transformadas en Gipuzkoa en los últimos 50 años). 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión de playas en un 25% a 40%. • Inundación de zonas urbanas. • Avance de la cuña salina en los estuarios. • El área total afectada en Gipuzkoa por ascenso del nivel medio del mar se estima en 110 hectáreas. • El área total afectada en Gipuzkoa por oleaje extremo de 50 años de periodo de retorno es de 164 hectáreas.

SISTEMA	BAJO CLIMA ACTUAL	BAJO CLIMA FUTURO
<p>BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS Y RECURSOS MARINOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Atenuación del ciclo reproductor en diversos organismos (mejillón, ostras, peces). • Humedales y marismas: Praderas de fanerógamas (<i>Zostera noltii</i>) escasas siendo especialmente vulnerables. • Bentos sustrato blando: Dependencia en parte de las condiciones climáticas, especialmente del régimen de precipitaciones, y de la influencia antrópica. • Vegetación bentónica: Cambios importantes en la vegetación submarina, con disminución de macrófitos clave (<i>Gelidium</i>), incremento de algas calcáreas, proliferación de filamentosas y foráneas. • Fitoplancton: Disminución desde 1997 de la concentración de clorofila superficial (aunque se incrementa en profundidad). Mayor frecuencia de especies tóxicas. • Zooplancton: Incremento de especies termófilas y disminución de especies de aguas frías tanto en estuarios como en aguas costeras. Introducción de especies invasoras (<i>Acartia tonsa</i>) reduciendo la diversidad de las comunidades originales. • Efectos sinérgicos entre el incremento de la temperatura del agua y la contaminación. Aumento de la tasa de biocumulación de sustancias tóxicas y cambios en la capacidad de adaptación. • Los efectos del cambio climático no han sido de la misma intensidad en la costa vasca, dependiendo del grado de influencia antrópica. • Los recursos explotables (<i>Gelidium</i> y anchoa) dependen en gran medida de las condiciones climatológicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de radiación solar estival de 35-40 W/m² día. Mayor penetrabilidad de la radiación solar ante la disminución de las precipitaciones, contaminación y aguas oligotrofas. • Incremento de la temperatura de agua estival (2,1-3 °C) en estuarios. Aumento de la extensión y frecuencia de los periodos de hipoxia/anoxia en estuarios. Mayor producción fitoplanctónica causando episodios más frecuentes de eutrofización de las aguas. • Reducción extrema del crecimiento en organismos calcáreos (mejillón, erizos, algas calcáreas) en respuesta a la acidificación. Disminución previsible del pH hasta 7,7. • Ciertas especies desaparecerán al no poder contemplar su ciclo vital en las nuevas condiciones climáticas • Invasión por el mar de alrededor de un 6,5% de la superficie actual de humedales y marismas, destacando la reducción de las praderas de fanerógamas marinas. • Bentos sustrato blando: Alteración en la composición y distribución de las comunidades bentónicas de sustrato blando. Introducción y expansión de especies foráneas. • Vegetación bentónica: progresiva mediterrización de la vegetación marina. Mayor desarrollo especies adaptadas a aguas más cálidas y de especies foráneas introducidas. Drástica disminución de las algas calcáreas. • Fitoplancton: la diferente distribución de la clorofila en la columna de agua tendrá repercusiones sobre otros compartimentos del ecosistema. Mayor frecuencia y extensión de las floraciones de especies tóxicas, especialmente en estuarios. • Zooplancton: Cambios importantes en la composición de las comunidades con mayor presencia de especies foráneas y algunas de ellas de carácter invasor. • Agudización de los efectos sinérgicos, aumentando la susceptibilidad de la biota frente a las nuevas condiciones climáticas. Adaptación de criterios de gestión medioambiental. • La vulnerabilidad de los ecosistemas marinos dependerá del grado de influencia antrópica. Aplicación de políticas de protección. • <i>Gelidium</i> dejará de ser un recurso explotable.

SISTEMA	BAJO CLIMA ACTUAL	BAJO CLIMA FUTURO
<p>BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS TERRESTRES Y RECURSOS EDÁFICOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La riqueza de especies alóctonas casuales es mayor en hábitats antrópicos pero el impacto de las invasoras transformadoras es mayor en ecosistemas riparios y litorales. La comarca del Gran Bilbao es la que presenta un mayor nivel de invasión. • El grado de invasión en los ecosistemas riparios aumenta con la degradación ecológica y es mayor en los de la vertiente cantábrica que en los de la vertiente mediterránea. • El análisis de la micocenosis revela la existencia de un cambio en la composición de la comunidad fúngica a partir del año 2000. • Se ha observado en el conjunto de las especies fúngicas más frecuentes un claro retraso (hasta 60 días) en el final del periodo de fructificación durante la última década. Se observa correspondencia entre la temperatura media anual y la amplitud del periodo de fructificación. • Se han obtenido indicios preliminares de desplazamientos del ciclo reproductor de limacos en las últimas décadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un aumento de las temperaturas invernales favorecería el establecimiento de nuevas especies alóctonas originarias de regiones cálidas; una disminución de las precipitaciones estivales (sequía estival) dificultaría su establecimiento pero podría favorecer a especies de origen mediterráneo. • En ecosistemas estuáricos la capacidad invasora de la especie alóctona de mayor impacto, <i>Baccharis halimifolia</i>, disminuye al aumentar el grado de salinidad y encharcamiento y podría estar condicionada en el futuro por un cambio en la cuantía y distribución de las precipitaciones. • El análisis del grado de invasión de los ecosistemas riparios muestra que existe una correlación negativa entre el índice de invasión y la continentalidad y positiva entre éste y la termicidad, aunque aumenta con la degradación del estado ecológico y/o el aumento de la presión humana. • Se prevé un aumento de la extensión del ombrotipo seco y subhúmedo junto con una disminución de las áreas con ombrotipo húmedo e hiperhúmedo, lo que limitaría la extensión de algunas especies invasoras y favorecería a otras. • Se producirán cambios en el periodo de fructificación de las especies fúngicas de los ecosistemas dunares del territorio, así como un retroceso en la distribución actual de la especie fúngica alóctona <i>C. archeri</i>. • El aumento de la descomposición de la materia orgánica debida a un calentamiento del suelo puede retroalimentar el propio cambio climático. • Aumentará la salinización del suelo como consecuencia de las mayores tasas de evapotranspiración. • Cambio en el régimen de precipitaciones podría aumentar la erosión potencial de los suelos. • Se prevén cambios en la susceptibilidad de la biota frente a agresiones ambientales, tanto climáticas como antrópicas (contaminación química). • La acidificación y la disminución del contenido en materia orgánica del suelo puede suponer una menor acumulación pero, paradójicamente, una mayor toxicidad de los metales en los organismos edáficos.

SISTEMA	BAJO CLIMA ACTUAL	BAJO CLIMA FUTURO
RECURSOS AGROPECUARIOS Y FORESTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Se está produciendo un desequilibrio entre el grado probable (contenido de azúcar) y la madurez fenólica obtenida en el momento de la vendimia. Es decir, se está adelantando la fecha de vendimia al alcanzarse antes el contenido de azúcar que la define (13.5 °C), por lo que no se alcanza la madurez fenólica adecuada (riesgo para la calidad del mosto debido al exceso de graduación). • Se observa un descenso de la productividad en los sistemas de secano y un aumento de la demanda de los sistemas de riego. • Se está observando el aumento de la vulnerabilidad en los frutales por el adelanto de la floración, debido a las heladas tardías. • Se está observando una mayor incidencia de diversas plagas agrícolas y ganaderas. • Se ha observado un incremento de plagas y enfermedades forestales. Algunas especies perforadoras o defoliadoras pueden llegar a completar dos ciclos biológicos en un año o aumentar su área de colonización como consecuencia de los inviernos más benignos. • Se ha observado un incremento significativo en el volumen anual de madera dañado por perturbaciones naturales (tormentas, vendavales, ciclógenésis explosivas, etc.). • A partir de estudios dendrocronológicos se está observando la influencia de las condiciones climáticas en el crecimiento de los árboles (<i>Q. robur</i>, <i>Q. pyrenaica</i>). Las relaciones entre el crecimiento radial y las variables climáticas seleccionadas (media de la humedad disponible mensual y la media de la temperatura mensual) muestran que el efecto de los factores climáticos varía en función de la localidad y también en función de la especie. Así, la sensibilidad a los factores climáticos de ambas especies es similar en Bertiz, no así en Izkiz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se producirán diferencias en las respuestas entre distintos grupos funcionales. Así el efecto de la sequía es mayor en plantas C3 (i.e. trigo), que en plantas C4 (i.e. maíz). Aunque, éstas últimas también responden al aumento del CO₂, manifestándose sobre todo en su respuesta en la eficiencia en el uso del agua. • Los impactos proyectados a partir de la cadena de simulación sobre el trigo de invierno y la vid, están sujetas a cierta incertidumbre. En el caso de la vid, incluso en el signo del impacto, aunque las proyecciones obtenidas con los RCMs que mejor simulan la estacionalidad de la CAPV indican impactos positivos. • Las condiciones climáticas que se proyectan favorecerán la colonización de los cultivos por especies plaga de distribución mediterránea y a un incremento del número de generaciones • Vid: el aumento de la temperatura conllevará una mayor degradación del ácido tartárico disminuyendo la acidez total, afectando negativamente sobre la calidad final de los vinos. Es decir, los vinos tendrán mayor grado alcohólico con elevado pH y menor acidez total. • El papel de los ecosistemas terrestres como sumideros de carbono puede verse seriamente comprometido durante las próximas décadas, con lo que políticas de aforestación y reforestación tendrán que tener en cuenta las condiciones que se están proyectando para el futuro inmediato. • Se prevé un descenso de la capacidad de carga de los pastos de montaña, ofreciendo menor cantidad de hierba pero de mejor aprovechamiento por parte del ganado ovino. El ganado vacuno será el más perjudicado en estas condiciones. • Los modelos de nicho ecológico utilizados pronostican cambios en la distribución de algunas especies forestales de la CAPV. • El calentamiento global podría causar una pérdida a largo plazo de las reservas de carbono del suelo, debido a una mayor tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo. No obstante, la previsible disminución en las precipitaciones podría causar el efecto contrario.

- La explotación forestal podría ver alterado su periodo productivo (rentabilidad económica alterada).
- El aumento de episodios extremos (tormentas, vendavales, ciclogénesis explosivas, etc.) incrementará de manera significativa el volumen anual de madera dañada por perturbaciones naturales.
- Se verá afectado el equilibrio entre las plagas de insectos, sus enemigos naturales y sus hospedadores.

RECURSOS HÍDRICOS

En el caso de los recursos hídricos, a través del estudio de las condiciones históricas y actuales se ha detectado una tendencia descendente de caudales medios en invierno y primavera en los últimos 50 años, así como una tendencia creciente de los caudales máximos en las mismas estaciones. Además, la mayoría de los sistemas de abastecimientos presentan vulnerabilidad media-alta a cambios en aportaciones.

Debido al efecto del cambio climático, los escenarios auguran una disminución en el aporte de agua en invierno y primavera (entre 6-13%), un aumento el caudal pico (20%) y con ello una extensión del área inundable (3%), promoviendo el aumento de pérdidas por inundación para el 2050 (15%).

En esta situación, se prevé una disminución de la garantía de los sistemas de abastecimientos, además de favorecer el desencadenamiento y la reactivación de algunos grandes deslizamientos y coladas de tierra.

Visto los impactos esperados, concluimos que se debe continuar con el estudio de caudales climáticos y caudales naturales futuros, de forma que se profundice en el análisis del papel que juegan las diferentes formas de ocupación del suelo (ordenación del territorio) en el balance de agua de las cuencas, contemplando, además, las necesidades de adaptación de las políticas forestales y agrarias para la reducción de la vulnerabilidad hídrica. Asimismo, otro de los ámbitos prioritarios de este sistema será avanzar en el conocimiento de la vulnerabilidad de las redes de suministro de agua con el fin de poder avanzar en las políticas necesarias a desarrollar para la adaptación de las mismas, en función de criterios de priorización resultantes del análisis de impactos y riesgos de las distintas redes.

En este ámbito, y debido al incremento esperado en los fenómenos extremos relacionados con la precipitación y, por tanto, el incremento de la peligrosidad de los impactos asociados a los mismos, se plantea el estudio del efecto del cambio climático en las inundaciones de la CAPV, para aportar criterios de priorización

y estrategias de adaptación en los instrumentos de gestión y planificación existentes (por ej.: Plan Integral para la Prevención de Inundaciones del País Vasco -PIPI-). Esto cobra una mayor relevancia, si se tiene en cuenta las conclusiones obtenidas de la aplicación de los modelos de inundación en la primera etapa de K-EGOKITZEN, donde se ha hecho evidente que las áreas urbanas son las zonas que potencialmente presentan una mayor vulnerabilidad social y económica. Para abordar esta problemática se plantea la necesidad de profundizar en la aplicación, calibración y validación de modelos de inundaciones urbanas como herramienta de análisis de peligrosidad y como herramienta de gestión que permite priorizar y analizar la efectividad de las medidas de adaptación.

MEDIO URBANO

En la actualidad se evidencia una serie de señales globales (envejecimiento de la población, movimientos migratorios, aumento de las desigualdades sociales y económicas, crisis que afecta incluso a los valores...) que se dejan sentir también localmente en nuestra comunidad, y cuya combinación con las evidencias e impactos sobre el clima descritos anteriormente nos colocan en una situación crítica que se manifiesta en una alta sensibilidad de nuestros medios biofísicos, económicos y sociales ante eventos extremos como inundaciones y una baja capacidad de respuesta ante inundaciones y olas de calor, lo que se traduce en una alta vulnerabilidad actual de nuestros medios urbanos ante posibles eventos extremos derivados del cambio climático.

En 40 de los municipios de la CAPV, en los que reside casi el 80% de la población, pueden verse afectados por 2 o 3 de los eventos extremos climáticos previsibles en la CAPV. Los cambios en el clima se espera que se asocien en relación a la salud humana a un aumento de la morbilidad y mortalidad, principalmente por olas de calor e islas de calor y a un aumento de los episodios agudos respiratorios, especialmente de las alergias. Estos episodios se intensificarían como consecuencia de la ampliación del periodo polínico y del número de días calurosos y secos que potencian la carga ambiental (resultando la región sur la más perjudicada), que afectarían fundamentalmente a la población sensible como la infancia, las personas mayores o personas con movilidad reducida por dependencia y/o discapacidad (para 2020 el 25% de la población superará los 65 años).

Ante esta evidencia no podemos dejar de actuar, ya que a lo largo de este siglo se espera que suban las temperaturas máximas y mínimas, lo que será más acusado en nuestros principales núcleos urbanos, acentuándose aquí el efecto de isla de calor. Además, las olas de calor del siglo XXI sean más largas y calurosas, y las precipitaciones anuales disminuirán, sobre todo en verano, aunque serán más frecuentes las precipitaciones extremas y durante el invierno lo que puede conllevar un aumento de la frecuencia y extensión de las inundaciones, así como de incendios y sequías. Ante esta necesidad de actuación se ha planteado una serie de instrumentos de apoyo a la Gobernanza Adaptativa cuya meta principal es la reducción de la vulnerabilidad urbana al cambio climático.

No obstante, es necesario seguir trabajando en esta línea mejorando esta aproximación y ampliando su ámbito de aplicación. Una de las principales líneas abiertas y sobre la que sería necesario entrar un importante esfuerzo es la integración de escenarios sociodemográficos, económicos y de cambios de usos de suelo específicos de nuestra comunidad junto a los escenarios climáticos definidos, lo que posibilitaría, además, realizar un análisis de la vulnerabilidad futura ante el cambio climático en la CAPV. Otra posible línea de trabajo se debería centrar en la mejora de la metodología de evaluación de la vulnerabilidad urbana bajo el principio de parsimonia que permitiría su aplicabilidad a todos los municipios de la CAPV, incluso en los casos en los que no se dispone de información detallada. Una tercera línea de trabajo es adaptar el análisis de la vulnerabilidad a la subida del nivel del mar. También sería interesante seguir avanzando en la importancia del diseño urbano en las variables climáticas locales, y por consiguiente en el confort de la ciudadanía, así como en su relación con la calidad del aire.

Estas mejoras, junto con la evaluación de los impactos esperados en nuevos entornos, son las apuestas para un futuro próximo. Además, en la evolución futura de estos trabajos, los análisis de impacto-vulnerabilidad deberán combinarse con la valorización de los bienes y servicios de las áreas potencialmente afectadas, junto con el análisis coste-efectividad de las alternativas de adaptación. Los costes económicos esperados por el impacto del cambio climático pueden llegar a ser importantes y debe analizarse la rentabilidad de las acciones tempranas de adaptación, ya que resulta menos costoso mitigar emisiones de manera inmediata que afrontar en el futuro los impactos económicos derivados del cambio climático.

ZONA COSTERA

Las proyecciones climáticas bajo escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero indican que la costa experimentará cambios a lo largo del s. XXI que incluyen el calentamiento del mar en los primeros 100 m de profundidad (1,5-2,05 °C) en 2100, ascenso del nivel medio del mar (29-49 cm), e intensificación de la precipitación extremal diaria (10%) en 2050. Las observaciones del nivel del mar en el golfo de Bizkaia durante el s. XX son consistentes con el ascenso proyectado para finales del s. XXI. Específicamente, el análisis de la tendencia para el mareógrafo de Santander ha proporcionado una tasa de ascenso de 2,08 mm.año⁻¹ en el periodo 1943 a 2004. La variación de la temperatura superficial del mar en la costa vasca (Aquarium de Donostia-San Sebastián) en el periodo 1946-2007 indica un calentamiento de 0,026 °C.año⁻¹ desde 1977, similar al de otros estudios realizados a la escala del golfo de Bizkaia.

El impacto del ascenso del nivel del mar máximo proyectado de 49 cm para finales del presente siglo ha sido estimado en 110,8 ha de zonas de riesgo de inundación en la costa de Gipuzkoa y 12 ha en la Reserva de la Biosfera de Urdaibai. Los mapas de riesgo de inundación generados permiten localizar el impacto de dicho ascenso en múltiples sectores de la costa. Dicho impacto en la costa será uno de los principales, especial-

mente en zonas llanas estuáricas (gran parte de ellas urbanizadas). Las playas de arena podrían retroceder entre un 25% y un 40%, siendo uno de los elementos más vulnerables a la inundación costera. En zonas urbanas costeras y portuarias podrán verse afectadas en 34 ha de varias localidades de Gipuzkoa. Con el ascenso del nivel del mar, la migración natural de las marismas, humedales y praderas de fanerógamas marinas hacia el interior se verá impedida en muchos casos por barreras fijas artificiales y naturales. Las especies estuáricas que tienen un rango del nicho ecológico estrecho, asociado con aquellas variables climáticas que van a variar, y con capacidad de dispersión limitada, verán su vulnerabilidad incrementada por la interacción de los factores ambientales de cambio dado que su hábitat podría verse reducido y fragmentado. Este es el caso de la fanerógama marina *Zostera noltii* en el estuario del Oka, cuyo hábitat idóneo podría reducirse en un 40% hacia finales del presente siglo por el ascenso del nivel del mar. Esta especie podría por lo tanto considerarse especialmente vulnerable al cambio climático, dado que se encuentra en sólo tres estuarios del País Vasco, y podría verse además afectada por la interacción del calentamiento del agua y del aire y su presumible poca conectividad genética.

Las principales medidas de adaptación al cambio climático en zonas costeras que se plantean en este estudio son: 1) la revisión de la servidumbre de protección del dominio público marítimo-terrestre acorde con el ascenso del nivel del mar, 2) proteger y favorecer la conectividad de los hábitats de interés comunitario, limitando la urbanización, así como restaurar las zonas degradadas, aumentando la resiliencia de los ecosistemas y su capacidad de adaptación natural a los cambios, 3) minimizar las presiones actuales que afectan al medio físico y a la biodiversidad litoral y que merman sus bienes y servicios, y 4) evitar las barreras artificiales que confinan el sistema duna-playa-depósitos submarinos y en su caso desembocadura y río/estuario, para mantener el transporte sedimentario natural que previene la pérdida y retroceso de playas y depósitos de arena.

BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS Y RECURSOS MARINOS

A partir de 1980 se detecta en la costa vasca un incremento de la temperatura del agua de mar (0,26 °C por década), una mayor frecuencia de días con alta temperatura del agua, una mayor radiación solar (1,1 W/m² por día por década desde 1980) y probablemente una menor disponibilidad de nutrientes, lo cual ha causado una respuesta de los organismos en diferentes sistemas biológicos (bentos, plancton, pelágico) y escalas (individuos, poblaciones, comunidades).

Debido al efecto del cambio climático, los escenarios para finales de siglo auguran un incremento de la temperatura del agua de mar de 1,5-2,05 °C, un incremento de radiación solar estival de 35-40 W/m².día, una notable acidificación y una disminución en la disponibilidad de nutrientes. Ante estos escenarios se esperan cambios biológicos y ecológicos que afectarán profundamente a los diferentes ecosistemas de la costa vasca alterando también el aprovechamiento de los recursos marinos.

Tanto en el medio costero como en los ecosistemas marinos, la mejora de los estudios viene de la mano de la ampliación de la cobertura espacial del estudio como la ampliación en las especies estudiadas, de forma que se extienda el conocimiento de lo que se espera que ocurra en un futuro. Al ser las especies marinas muy sensibles a pequeños cambios ambientales se prevén en futuros escenarios climáticos profundos cambios en la estructura y composición de las comunidades marinas, con el riesgo añadido de producirse una expansión de especies foráneas favorecidas por el tráfico marítimo y por vías naturales ante las nuevas condiciones climáticas. Los cambios que se vayan produciendo en el medio marino nos indicarán de forma anticipada los cambios potenciales que se podrán ir produciendo en el medio terrestre.

Asimismo, dado el grado de incertidumbre asociado a los resultados obtenidos (presentan una horquilla que se está trabajando para reducirlo en la medida de lo posible), el aumento de la cobertura debe ir junto con la mejora en la resolución y en las proyecciones de las variables, además de la mejora en las simulaciones.

BIODIVERSIDAD, ECOSISTEMAS TERRESTRES Y RECURSOS EDÁFICOS

En relación a la flora alóctona, es previsible que incremente su presencia en el territorio al verse favorecida por el incremento de las temperaturas. Por otro lado, una disminución de las precipitaciones estivales, aumentaría la superficie de zonas sometidas a sequía estival y dificultaría el establecimiento y expansión de muchas especies alóctonas actuales pero podría favorecer a especies de origen mediterráneo.

Del conjunto de territorios de la CAPV, la comarca del Gran Bilbao es la que presenta un mayor nivel de invasión, aunque un aumento de la temperatura (sobre todo invernal) podría favorecer la expansión de algunas especies a otras comarcas, si encuentran hábitats favorables.

En ecosistemas estuáricos la capacidad invasora de la especie alóctona de mayor impacto en estos hábitats, *Baccharis halimifolia*, disminuiría al aumentar el grado de salinidad y encharcamiento y podría estar condicionada en el futuro por un cambio en la cuantía y distribución de las precipitaciones.

En cuanto a la flora fúngica, es previsible que se modifique su composición de especies, con incremento de algunas y reducción de otras. Las especies alóctonas de clima oceánico húmedo se verán frenadas en su expansión.

En relación a los recursos edáficos, éstos se verán afectados por el cambio climático. Así, aumentarán la salinización, la erosión potencial y la descomposición de la materia orgánica del suelo. En cuanto a la comunidad edáfica, en el proyecto se han propuesto especies como indicadoras sensibles a los cambios en la temperatura y disponibilidad hídrica del suelo (ácaros oribátidos y especies fúngicas). En el mismo marco

se han estudiado, además, los cambios en la fenología y la fisiología de la fauna edáfica, representada por el limaco común como modelo y especie clave en la cadena trófica. Finalmente, se han seleccionado a limacos y a lombrices como modelos experimentales para estudiar las interacciones entre el cambio climático y la contaminación del suelo.

RECURSOS AGROPECUARIOS Y FORESTALES

Para el estudio de los impactos asociados al cambio climático en el sector agrario, los modelos de simulación de crecimiento han resultado ser herramientas fundamentales para la consecución de los objetivos propuestos en K-Egokitzen-I. No obstante, y dada la gran sensibilidad de los mismos al sistema cultivo-clima-suelo, se antoja clave aumentar aún más la resolución de las salidas de los modelos de simulación mediante la utilización tanto de cartografía de suelos como de escenarios climáticos de mayor resolución. Ambas mejoras ya se están llevando a cabo en K-Egokitzen II.

Además de mejorar la resolución y, por tanto reducir la incertidumbre, es primordial aumentar el número de cultivos simulados con el propósito de poder ampliar el conocimiento de los impactos esperados en el sector agrario y así poder proponer las medidas de adaptación oportunas. La ampliación de las especies simuladas vendrá regida por el grado de prioridad de las especies, tanto en el ámbito económico como ecológico. En este sentido, cabe destacar que ya se han dado los primeros pasos en K-Egokitzen II.

Al igual que en el sector agrario, la utilización de modelos de nicho ecológico ha resultado de gran ayuda para el estudio del impacto del cambio climático en la distribución de algunas especies forestales en la CAPV. Los modelos utilizados reflejan una clara tendencia de disminución del espacio geográfico que va a reunir las condiciones ambientales futuras capaces de mantener poblaciones viables para algunas de las especies forestales modelizadas en K-Egoitzen-I bajo condiciones de cambio climático. En el caso de los pastos de montaña, como en el caso del sector forestal, la modelización ha sido y será una herramienta clave para la toma de decisiones a la hora de desarrollar planes de gestión tanto en el ámbito económico como ecológico.

En el caso del sector forestal, resulta necesario aumentar el número de especies simuladas con el objetivo de poder ampliar el conocimiento de los impactos esperados para poder establecer las medidas de adaptación oportunas. La ampliación de las especies simuladas se regirá tanto por motivos ecológicos como económicos.

Finalmente, con el fin de disminuir el grado de incertidumbre en la medida de lo posible se resulta necesario mejorar las entradas de los modelos, por lo que en K-Egokitzen-II ya se está avanzando en la mejora de los inputs climáticos (ENSEMBLES) y en la de los puntos de presencia de las especies.



Agradecimientos

El proyecto K-Egokitzen está cofinanciado por el Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca de Gobierno Vasco, a través del programa ETORTEK de la Sociedad para la Promoción y Reconversión Industrial (SPRI), y el Departamento de Industria e Innovación en el marco de Plan Vasco de Ciencia, Tecnología e Innovación 2010.

Esta publicación, constituye un documento resumen en el que se muestran los resultados del proyecto K-Egokitzen. Coordinado por la Unidad de Medio Ambiente de Tecnalía Research and Innovation y en el que participan otros dos centros de la Corporación Tecnalía (Unidad de Investigación Marina de AZTI-Tecnalía y Unidad de Medio ambiente-Recursos naturales de Neiker-Tecnalía) y 12 equipos de investigación de la Universidad del País Vasco (UPV-EHU), además de la colaboración del BC3 (Basque Center for Climate Change - BC3).

Para llevar a cabo este trabajo hemos contado con el apoyo de diversas Instituciones y organizaciones tales como Diputación de Gipuzkoa, Bizkaia y Araba, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (IMEDEA-CSIC), Servicio de Cartografía de Gobierno Vasco entre otros.

Agradecemos a todos su colaboración y participación en esta iniciativa lanzada en 2007 en el que se seguirá trabajando conjuntamente para seguir obteniendo resultados que nos ayuden en la lucha contra el cambio climático.

