



CAMBÉU CLIMÁTICU n'Asturies

Semeya: © NASA.GOV
<http://svs.gsfc.nasa.gov/Gallery/Warmingworld:Snapsfromspace.html>

Por **Ricardo Anadón**
Caderalgu d'Ecología
Profesor Honorariu Universidá d'Uviéu
& **Fernando González-Taboada**
Departamentu de Biología d'Organismos y Sistemes
Universidá d'Uviéu

Nes décadas últimes detéutase una influencia cada vegada más perceptible de l'actividá humana sobre la Tierra. La cada vegada más abondosa población humana y l'enanchamientu de la nuesa capacidá pa facer trabayu al tener fontes enerxétiques exosomátiques fai posible una espansión del nusu impautu sobre'l mediu ambiente. Dellos cambeos como la tresformación d'ecosistemas naturales a ecosistemas agrícolas son camudamientos buscaos, pero hai otros cambeos inducíos pola nuesa actividá que permanecieron ocultos, darreu que nun yeren cambeos nin deseaos nin buscaos. Ente estos últimos atópase'l Cambéu Climáticu, un cambéu remanece del propiu desendolcu teunolóxicu y del usu enerxéticu de recursos xeolóxicos, magar que tamién del camudamientu nel usu de la tierra.

Al ser el cambéu climáticu una alteración d'un sistema altamente variable a múltiples escales temporales y espaciales, la so perceición y, poro, de les posibilidaes de responder de mou individual o colectivu al mesmu faise complicada. El so estudiu y esparidimientu, lo mesmo que la rempuesta al mesmu, xenera munches entruques o incertidumes. A munches d'elles pue dase una rempuesta direuta, pero queden incertidumes o potenciales efeutos sobre los qu'hemos afayar rempuesta lo antes posible.

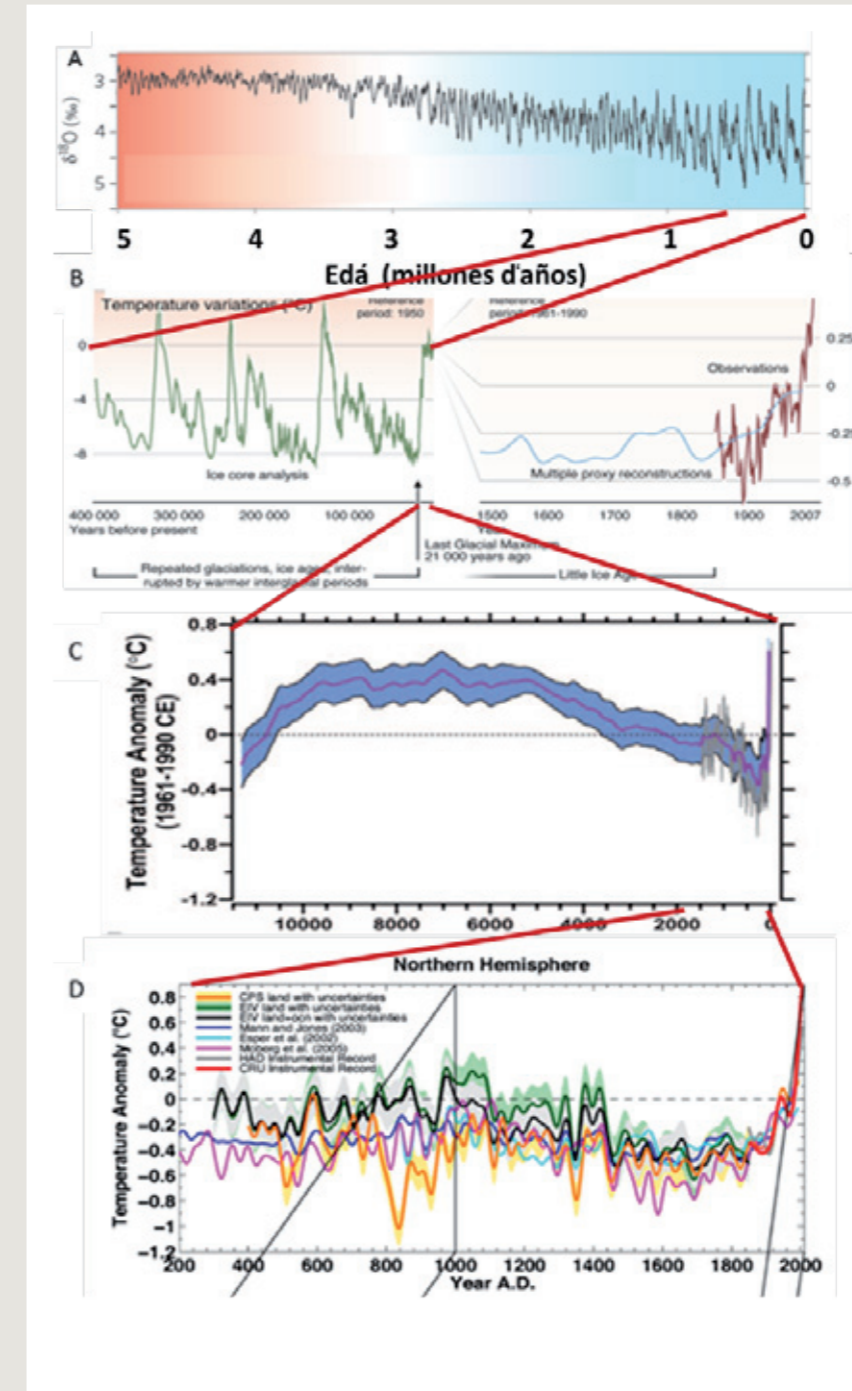
Munches de les entruques que se puen facer tienen una rempuesta nel conocimientu de los eventos asocedíos nel pasáu. La nuesa capacidá pa predicir los cambeos que puen aportar nel futuru dependerá en gran midida de que podamos conocer los procesos físicos, químicos, xeolóxicos y biolóxicos que tuvieron llugar nun pasáu más o menos recién (lo qu'al empar fadrá-nos posible establecer el grau de responsabilidá humana nel cambéu de güei). L'oxetivu d'esti

artículu sedrá polo tanto rellatar de forma sintética l'estáu actual del nusu conocimientu sobre los cambeos últimos, de los últimos millones a miles d'años, cómo se faen les proyeiciones pal futuru y cuáles son les incertidumes d'estes proyeiciones. Partiendo d'una visión necesariamente global focalizaremos los cambeos de recién y les proyeiciones al futuru a una escala tan reducida como ye Asturias, señalando dalgunos de los impautos qu'esti cambéu ambiental xeneró y los que se proyeuta que se puean xenerar nel futuru.

La cabera desglaciación acabó hai unos 10.000 años y dio entamu a un periodu favorable pal desendolcu humanu, inclusive l'agricultura y la ganadería

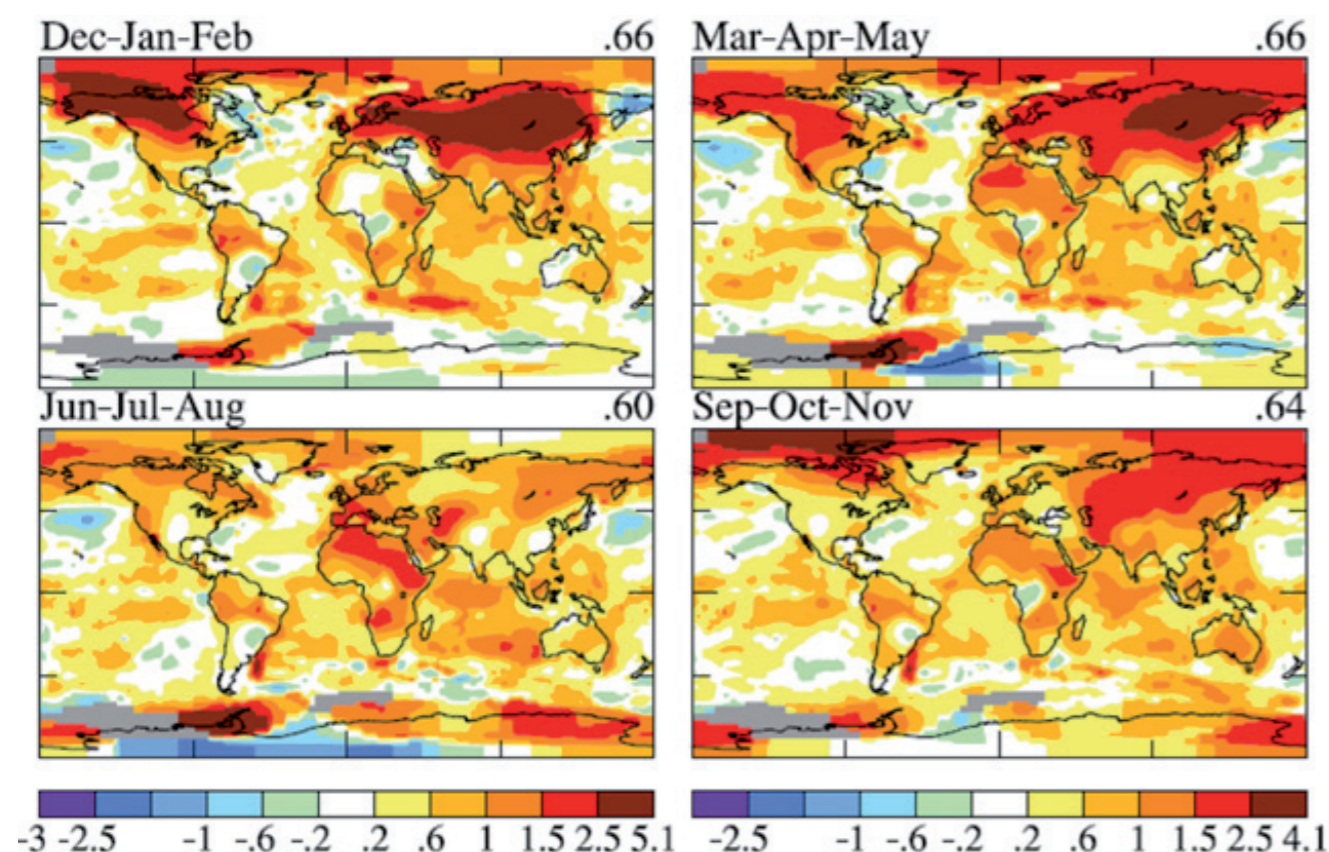
EL CAMBÉU CLIMÁTICU NA HISTORIA RECIÉN DE LA TIERRA

El clima de la Tierra sufrió dende'l so orixe cambeos a mui estremaes escales espaciales y temporales. Pa poner en perspeutiva'l cambéu climáticu actual ye interesante observar los cambeos asocedíos nos 5 millones d'años caberos y paga la pena observarlos con dixebras escales temporales. Si escoyemos un periodu ampliu, como sedrien los 5 millones d'años caberos, podemos apreciar que les oscilaciones climátiques de recién, les glaciaciones, maniéstense dende hai unos 3 millones d'años (Fig. 1A), con enanchamientu y mengua de la cubrición de xelu (deteutable como variaciones relatives del isótopu oxixenu 18). Nel postrer millón d'años les oscilaciones de temperatura caltuyéronse relativamente estables y averaes a los ciclos astronómicos definíos por Milankovitch (Fig. 1B).



IZQUIERDA

Figura 1. Historia climática de la Tierra dende reconstrucciones afitae n'estremaes clases d'aproximaciones indicatives (proxy). (A) Hai 3,6 millones intensificáronse les glaciaciones, probablemente pola mor de l'alteración de la circulación oceánica provocada pol zarru del ismu de Panamá [Ruddiman] (modificao de Ravelo 2010 a partir de Lisieki et al. 2005). (B) Nos últimos 400.000 años asocediéronse periodos fríos llargos con curtios periodos cálidos interglaciares como l'actual, denomáu Holocenu, y qu'entamó hai 11.800 años [d'IPCC AR4, 2007]. (C) La temperatura del planeta aumentó dende l'acabu de la última glaciación hasta algamar un máximu hai al rodiu de 7.000 años, pa volver a descender lento hasta qu'esta tendencia s'invirtió radicalmente dende hai 160 años [de Marcott et al. 2013]. (D) Tolos rexistros y proxy disponibles coinciden al indicar un incrementu anormal de temperatura nos últimos 160 años [de Mann et al. 2008]. (Fonte n'inglés)



Global maps 4 season temperature anomaly trends (°C) for period 1950-2009.

ARRIBA

Figura 2. Distribución de les anomalíes de la temperatura por trimestre respueto a les medies pal periodu de referencia 1951-1980. Fonte: NASA JPL GISSTEMP; data.giss.nasa.gov/gistemp/, Toniao de Hansen y col. (2011). [Fonte n'inglés]

La cabera desglaciación finó hai unos 10.000 años (Fig. 1C) y dio entamu a un periodu favorable pal desendolcu humanu, inclusive l'agricultura y la ganadería. Les reconstrucciones últimes falen d'un periodu de 5000 años con temperatures del planeta un poco pencia de la temperatura de referencia, la media ente 1960 y 1990, siguiés d'un esfrecimientu lentu con delles oscilaciones climátiques globales dende hai 2000 años (Fig. 1C). Si analizamos esti periodu caberu inda percibimos la existencia de periodos más o menos fríos, con oscilaciones na temperatura medio del Hemisferiu Norte de décimes de grau. Destacaríase un periodu medieval más cálidu, que coincide cola ocupación vikinga d'Islandia, Groenlandia y el Norte d'América del Norte, a la que siguió un esfrecimientu lentu con mínimos ente 1300 y 1700, periodu que los pintores flamencos representaron con canales xelaes y paisaxes de caza nevaos y que coincidió con periodos de fame y guerra nel norte d'Europa (Fig. 1D).

Nes tres gráfiques caberes obsérvase una xuba rápida de la temperatura na Tierra y nel

La intervención humana, movilizandu per aciu de la combustión compuestos de carbonu inertes dende'l puntu de vista climáticu qu'actúen na atmósfera como gases d'efeutu ivernaderu (GEI, como'l dióxidu de carbonu o'l metanu ente otros), sedría la esplicación más probable. El desendolcu de teunoloxíes pal usu de combustibles fósiles (carbón y llueu petroleu y gas) fixo posible la intensificación rápida de l'actividá humana, el so númeru y la so capacidá de facer trabayu, xenerandu un efeutu non deseáu y non bien analizáu al emprimir: l'acumulación de gases d'efeutu ivernaderu na atmósfera y los océanos. Les consecuencias, un incrementu rápido de la temperatura atmosférico y oceánicu y una gran acumulación d'esi calor nel océanu (aprox. el 90 % del calor ganao pola Tierra).

Una entuga interesante y que se repite dacuando ye si'l cambéu climáticu afeuta a toles fasteres de la Tierra y a toles estaciones del mesmu mou. La rempuesta ye bona de dar, nun lo foi y nun se proyeuta que lo puea ser en daqué momentu. La distribución de los incrementos de temperatura en cuatro trimestres del añu,

ente 1950 y 2009 (Hansen et al. 2010, Fig. 2) amuesa claramente les diferencies qu'hai ente fasteres oceániques y terrestres y ente époques del añu. Destaca l'incrementu pel nuesu iviernu nel Árticu y pel

branu en llatitúes medies y baxes del hemisferiu norte, o'l calecimientu peraltu de la Península Antártica frente a lo qu'asocede nel restu d'esi continente.

Como se ve na figura anterior, n'Asturies tamién se deteuta'l cambéu a esa escala, pero puen precisase más los cambeos tratando de presentalos a una escala próxima a la que ta-

El cambéu climáticu nun afeutó del mesmu mou a toles fasteres de la Tierra, nin se proyeuta que lo puea facer en nengún momentu

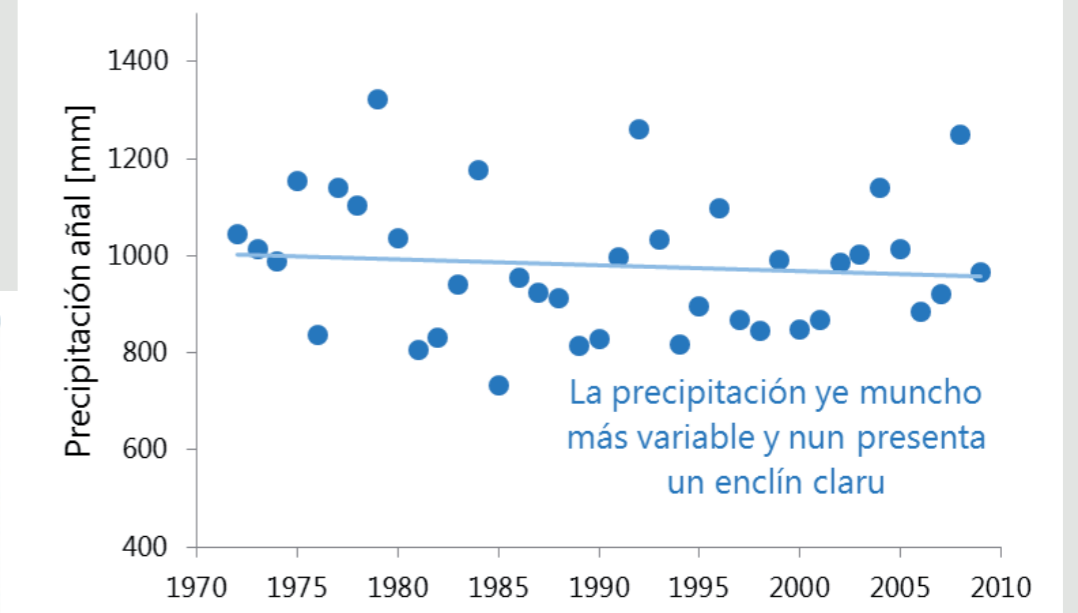
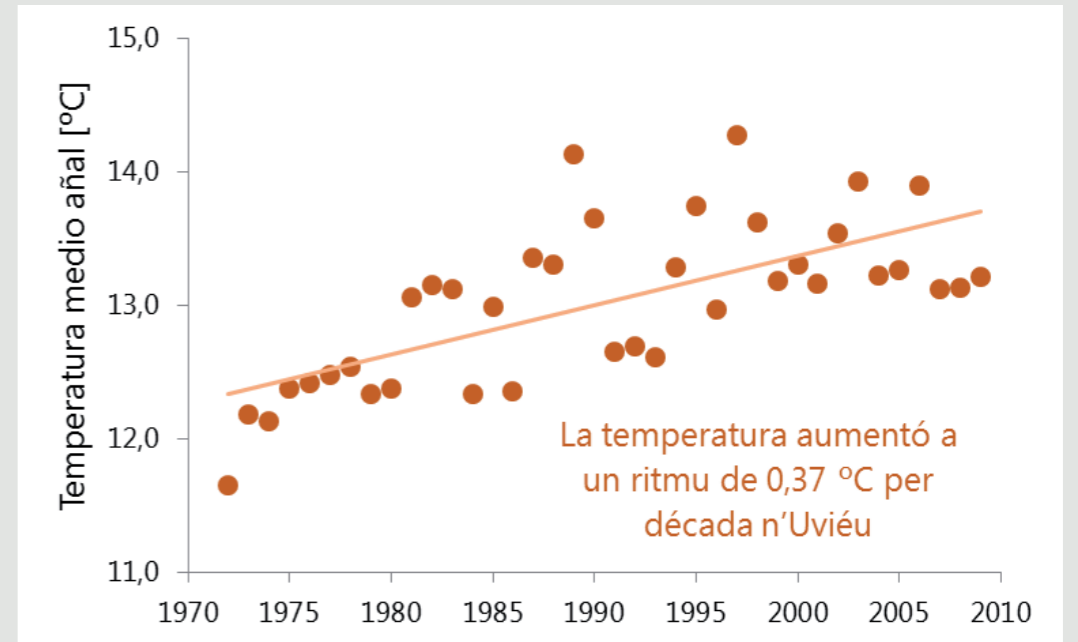
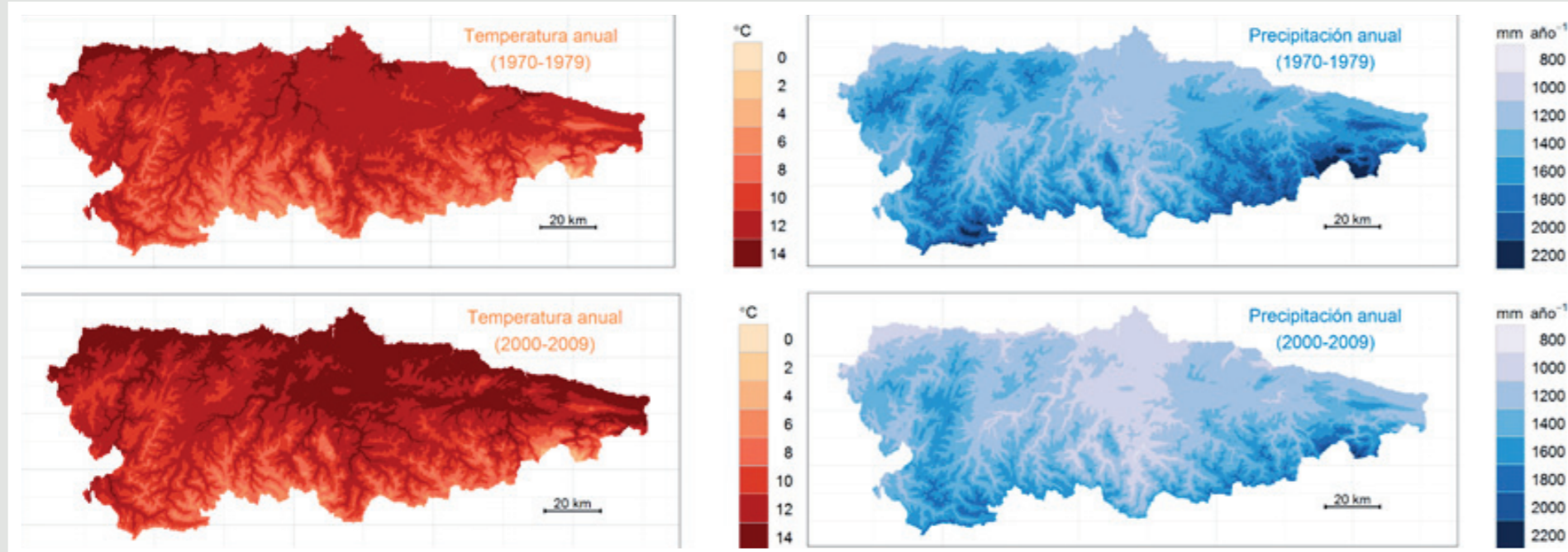
Hemisferiu Norte a partir de 1850, cuando yá había rexistru instrumental (llinia colorada na Fig. 1D). Del análisis de la evolución de la temperatura de la superficie na Tierra deduzse que l'enanchamientu recién tien carauterístiques especiales: la so tasa d'enanchamientu ye más rápida que les conocíes nel millón d'años caberu y nun hai causes naturales que lo xustificuen.

mos avezaos a percibir. La base del análisis ye'l disponer del rexistru de variables climátiques, principalmente de temperatura y precipitación: l'Axencia Nacional de Meteoroloxía tien una rede d'estaciones meteorolóxiques que s'encarguen d'esi llabor, magar que la so distribución dexa delles ralures nes partes altes. A partir d'estos datos puen xenerase modelos de distribución de les variables climátiques que tienen en cuenta la distancia a la costa y l'altor. Una y bones afitáu'l modelu, puen estimase la distribución de les variables a lo llargo del periodu nel qu'hai datos abondos, que n'Asturies ye dende 1970. La comparanza de la temperatura y precipitación ente la década de los 70 del siglo xx y la primera del actual dexa visualizar el cambéu rexistru nun intervalu temporal tan reduciu: un incrementu reseñable de la tempe-

ratura medio añal y un amenorgamientu de la pluviosidá (Fig. 3), inda que nesti casu seya menos evidente al analizar les tendencias de cada estación (González-Taboada y Anadón 2011; la información pue consultase online nel portal IDEBOS <http://idebos.bio.uniovi.es/GeoPortal/Atlas/>). Como asocede a escala global, tamién les modificaciones d'estes dos variables climátiques estrémense ente estaciones, siendo más evidente el calecimientu primaveru y braniegu y el descensu de pluviosidá braniega. Como referencia direuta de los cambeos de temperatura y precipitación apúrrense los cambeos de les medies añales na estación d'Uviéu (Fig. 4). Apréciase nesta un incrementu relativamente importante de la temperatura ($0,37^{\circ}\text{C}$ década⁻¹) mentantu que la pluviosidá ye más variable y nun amuesa un patrón definíu.

ABAXO

Figura 3. Cambeos na temperatura medio añal y na precipitación pa les décadas 1970-1979 y 2000-2009. Tomao de González-Taboada y Anadón, 2011. Datos disponibles en <http://idebos.bio.uniovi.es/GeoPortal/Atlas/>. [Fonte en castellanu]



ARRIBA

Figura 4. Cambeos na temperatura medio añal na estación d'El Cristo (1249), n'Uviéu, ente 1973 y 2010. Datos apurros pola Axencia Estatal de Meteoroloxía, AEMET.

Si les señes d'un cambéu nes variables climátiques atmosféricas son clares, tamién lo ye la señal na temperatura superficial del agua de mar en tol Atlánticu (Figs. 5 a y b) y nos otros océanos sacante en dalgunes fasteres restrinxíes nes que tien llugar un procesu de xuba d'agua fondo, les fasteres de *surdimientu*. Nel casu de los océanos hai qu'estremar ente'l calecimientu superficial y lo qu'asocede n'agua fondo. La superficie del océanu intercambia agua y calor cola atmósfera, lo que nun asocede con agua sub-superficial y fondo; esta simple diferencia motiva que'l calecimientu seya más perceptible nel periodu estival n'agua superficial, y asoceda y deteute, tamién a mayor fondura, pero con una intensidá muncho menor (González-Pola *et al.*, 2005). Estos mesmos autores deteutaron cambeos na salinidá del agua, pero la señal nun ye tan clara. Si restrinximos la nuesa observación al agua próximo del Cantábricu pue afirmase que'l calecimientu ye más claru n'agua oceánicu que no costero, en parte pola mor de la variabilidad d'estes últimes y que'l calecimientu ye más acusáu tamién en branu. Sicasí, pue deteutase una espansión del periodu d'estratificación (Fig. 5c), el periodu que trescorre ente l'entamu estacional del calecimientu superficial (marzu-abril) y l'entamu del periodu de mestura de la seronda (ochobre-payares); sicasí, esta espansión nun ye mui importante nel Cantábricu (González-Taboada y Anadón 2012).

LOS CAMBEOS FUTUROS DEL CLIMA

Ún de los aspectos más importantes de la información sobre'l clima consiste en saber cómo evolucionará esti nel futuru, darréu que ye la base sobre la qu'han establecese los posibles impautos, los riesgos y la vulnerabilidá a la que nos veremos empobinaos. Predicir el futuru ye cuestión de futurólogos, lo que cuasi esclúi d'afectu a la comunidá científica. Ésta almite la imposibilidá de predicir, pero y'foi a desenvolver métodos que faen posible proyeutar qué asocederá col clima del futuru. Ye una diferencia clave: nun se *prediz*, sinón que se *proyeuta'l* pasáu al futuru. Eso implica que podemos aplicar el conocimientu de los procesos qu'asocedieron, les ecuaciones que los espliquen y modelen, a un tiempu futuru nel que camuden delles condiciones, fundamentalmente la concentración de gases d'efeutu ivernaderu, y les propiedaes reactivas del mediu terrestre al modificar la cobertoria vexetal y los suelos. Entrambes modificaciones tienen un orixe antrópico.

Sicasí, el procesu pa proyeutar el clima al futuru presenta una primer y, per agora, irresoluble incertidume. Si'l cambéu de güei ta motiváu en gran medida pol incrementu rápidu na concentración de gases d'efeutu ivernaderu na atmósfera que ye pola mor de les emisiones humanas ¿cuála sedrá la emisión futura de los humanos? La respuesta ye que nun se pue conocer, darréu que nun tenemos modelos de respuesta

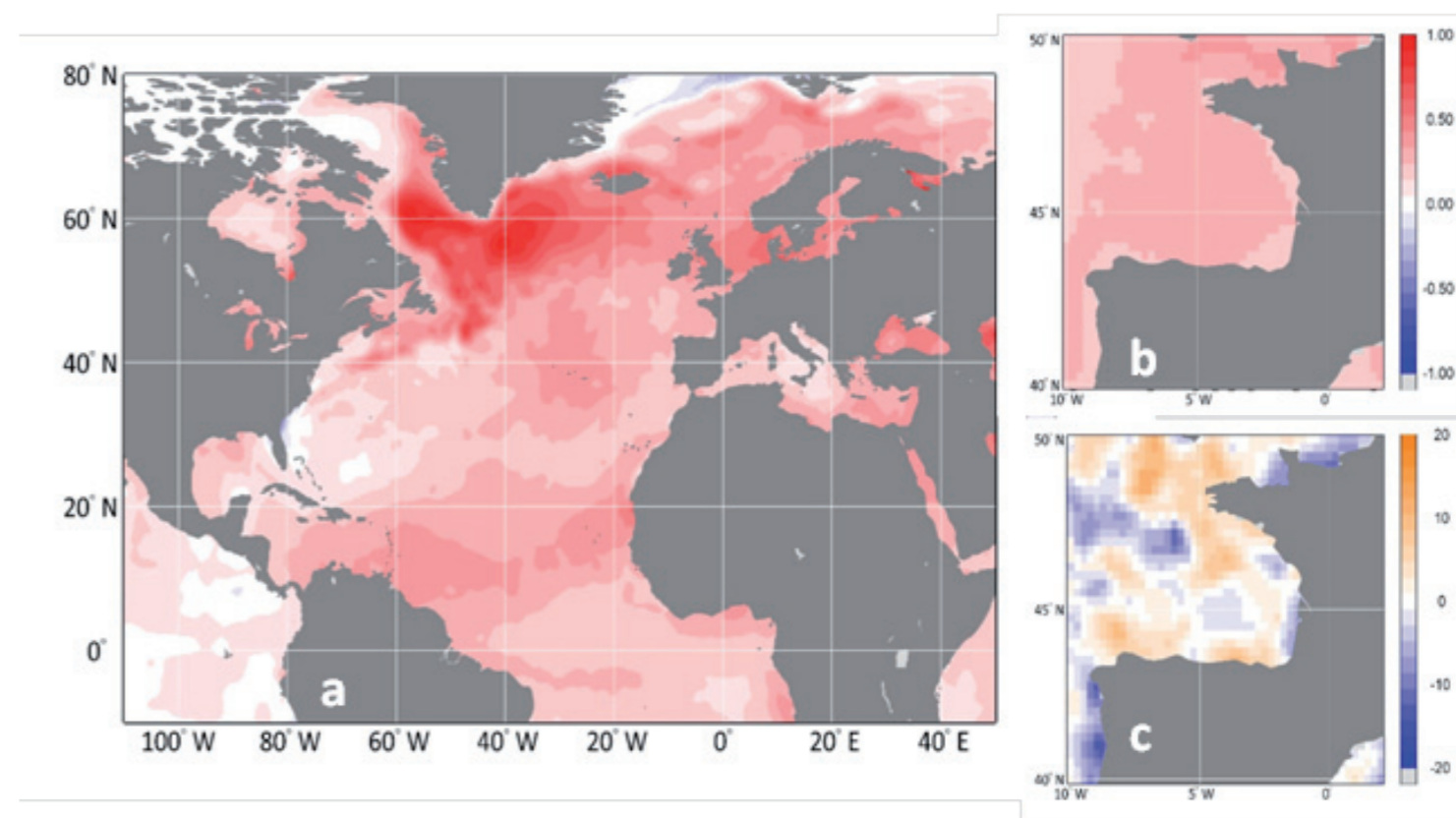
Les señes d'un cambéu nes variables climátiques atmosféricas son clares, y tamién les de la temperatura superficial del mar en tol Atlánticu y nos otros océanos

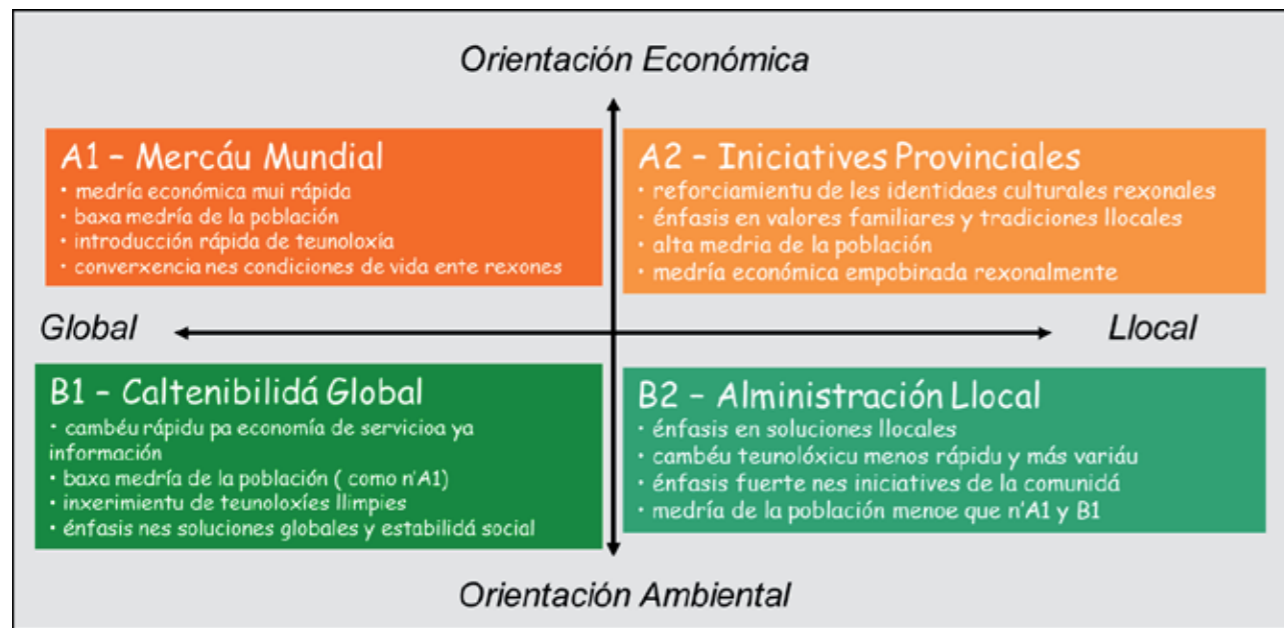
de los yá más de siete mil millones de persones qu'habitamos la Tierra, persones xebrades en 208 países con condiciones xeográfiques y ambientales mui estremaes, lo mesmo que distintos niveles de riqueza y bienestar. Pa iguar esti problema, el **Panel Intergubernamental pal Cambéu Climáticu**, l'IPCC, diseñó en 1990 cuatro modelos

de desenvolcu socioeconómicu baxo los que facer les proyeiciones de cambéu climáticu. Estos *escenarios d'emisión* (SRES nes sos sigles d'inglés) describen opciones estremaes de desenvolcu socioeconómicu y teunolóxicu que van dende una humanidá combatiendo de mou coordináu'l cambéu climáticu hasta un futuru nel que los

ABAXO

Figura 5. Tasa de cambéu observada ente 1981 y 2010 de: a y b) la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C década}^{-1}$); c) la duración del periodu d'estratificación (cambéu de díes década^{-1}). Midíes estimaes dende la base de datos NOAA Optimum Interpolation 1/4 Degree Daily Sea Surface Temperature Analysis (OISST version 2, Reynolds y col. 2007). (de González-Taboada y Anadón 2012).





ARRIBA

Figura 6. Escenarios d'emisión diseñaos pol IPCC en 1990 y usaos nos cuatro primeros Informes d'Evaluación del Cambéu Climáticu. Les cuatro families de modelos de desendolcu socioeconómicu que se planteguen puen dixebrase según prioricen les necesidades llocales frente a les globales y según la importancia que tengan los criterios económicos frente al procuru pa col mediu ambiente na toma de determin. [Modificao de Nakicenovic et al. 2000].

DERECHA

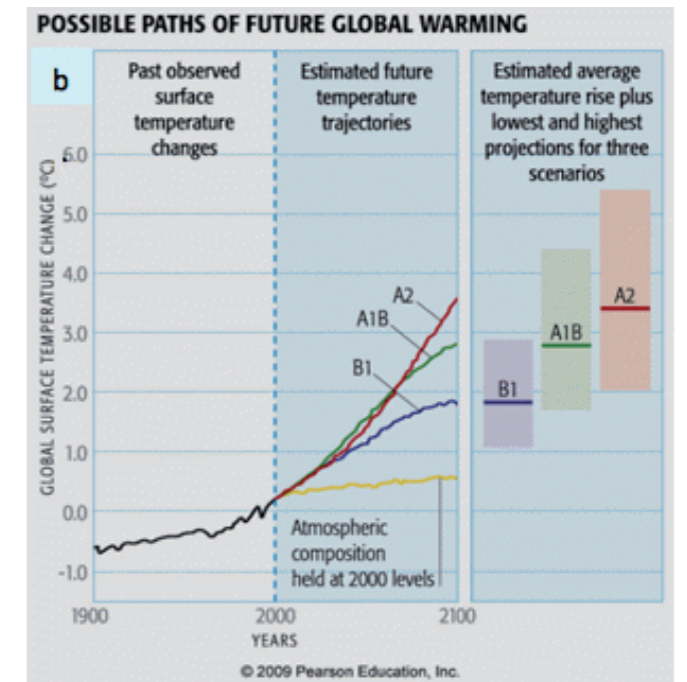
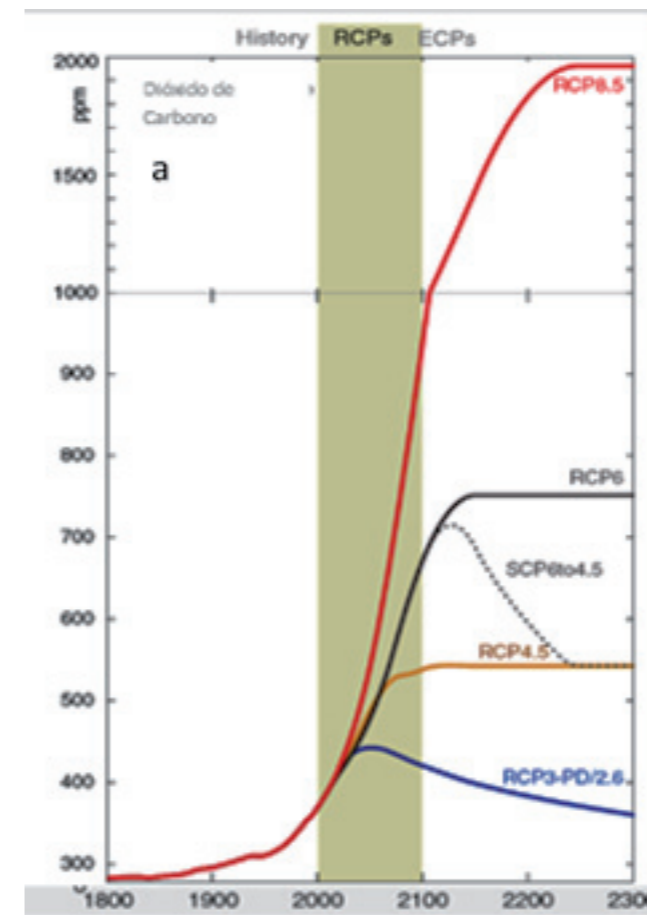
Figura 7. a, Rutes representatives de concentración. Rutes expandíes de concentración Concentraciones de (GEI - GHG) encamentaes pa les investigaciones de cambéu climáticu CMIP5. a) CO₂ atmosférico. Indícase la capacidá radiativa de cada concentración: 2,6 - 4,5 - 6,0 - 8,5. (tomaos de Meinshausen et al, 2011). b, incrementos de temperatura a lo llargo d'esti sieglu proyeutaos pa tres escenarios d'emisión y como si se caltuviere concentración de CO₂ na atmósfera como nel añu 2000. Indícase la media y los rangos d'incrementu (panel de la izquierda) llograos pente medies d'estremaos modelos pa cada escenariu. Tomao de Pearson a partir del AR4 del IPCC, 2007. [Fonte n'inglés]

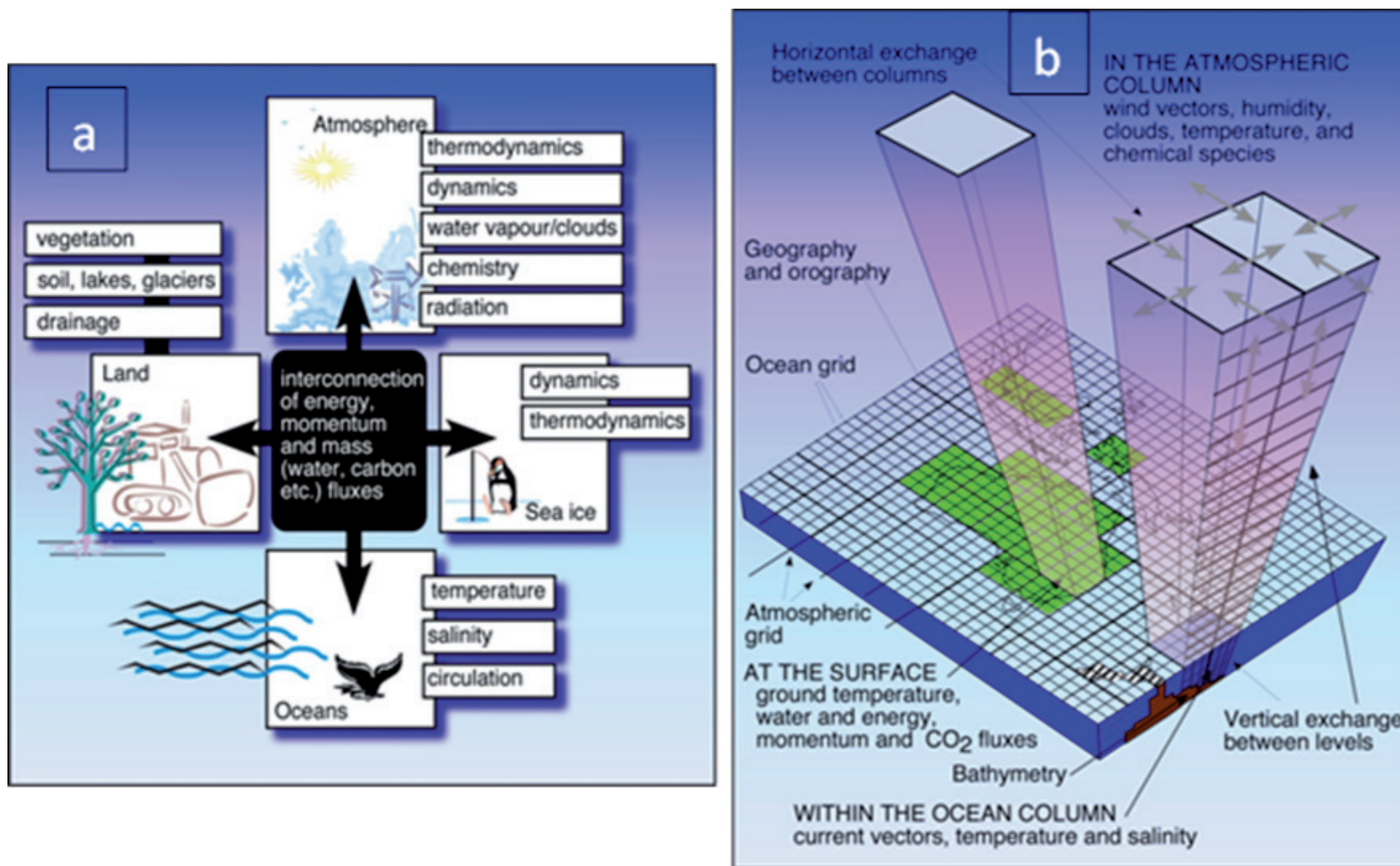
Predicir el futuru ye de futurólogos. Na comunidá científica nun se prediz: proyétase'l pasáu, el conocimientu de los procesos qu'asocedieron, al futuru. Toles proyeiciones y tolos escenarios proyeten un incrementu de la temperatura mayor cuanto más gases d'efeutu ivernaderu s'emitan

países namái curien polo sos propios intereses (Fig. 6). Adoptáronse/actualizáronse de recién un nuevu conxuntu d'escenarios conocida como *Rutes representatives de concentración* (RCP) pa ufrir una gama de futuros posibles pa la evolución de la composición atmosférica (Moss et al. 2010) qu'abarquen hasta 2100. Fíxose una expansión hasta 2300 de diches RCP, conocíes como *Rutes expandíes de concentración* (ECP) (Fig. 7).

Los modelos de proyeición climática foron evolucionando dende modelos práuticamente atmosféricos a los actuales modelos globales *atmósfera-océanu-tierra-xelu* (Fig. 8a). El so fundamentu ye la existencia d'interacciones ente caún d'esos componentes y el clima global o llo-

cal, polo que s'esplica'l clima d'una fastera pola dinámica atmosférica y les influencies de los demás componentes. Los modelos ígüense nuna retícula sobro la superficie de la Tierra (Fig. 8b) (d'aprox. 150 km de llau, cuadraes o rectangulares); cada prisma subdivídese en celdes por altor (atmósfera) o fondura (océanu) y analícense les tresferencies de calor-radiación y otros componentes ente les celdes. Ye obvio qu'hai dos componentes básicos: la entrada de radiación solar y la emisión de radiación (normalmente infrarroxo) dende la tierra. Los modelos tienen que reconstruyir la evolución del clima nel pasáu, y namái si son efeutivos nesti aspeutu pue ún enfotase en que les proyeiciones al futuru tengan sentíu.





ARRIBA

Figura 8. Los modelos dinámicos de simulación de clima aplican principios físicos de dinámica de fluyíos y química ambiental pa recrear la dinámica de l'atmósfera y los océanos. (a) Los modelos han considerado la dinámica ya interacciones ente los distintos subsistemas de la Tierra, ello ye, atmósfera, hidrosfera, xeosfera, biosfera y, como parte d'esta última, l'antroposfera. (b) El clima simúlase resolviendo ecuaciones sobre una maya o tesela qu'estrema l'atmósfera y l'océanu. La resolución horizontal y vertical d'esta tesela camuda pa estremaes capes axustándose a les carauterístiques acordies col so dinamismu. Tomao de McGuffie y Henderson-Sellers (2005). (Fonte n'inglés)

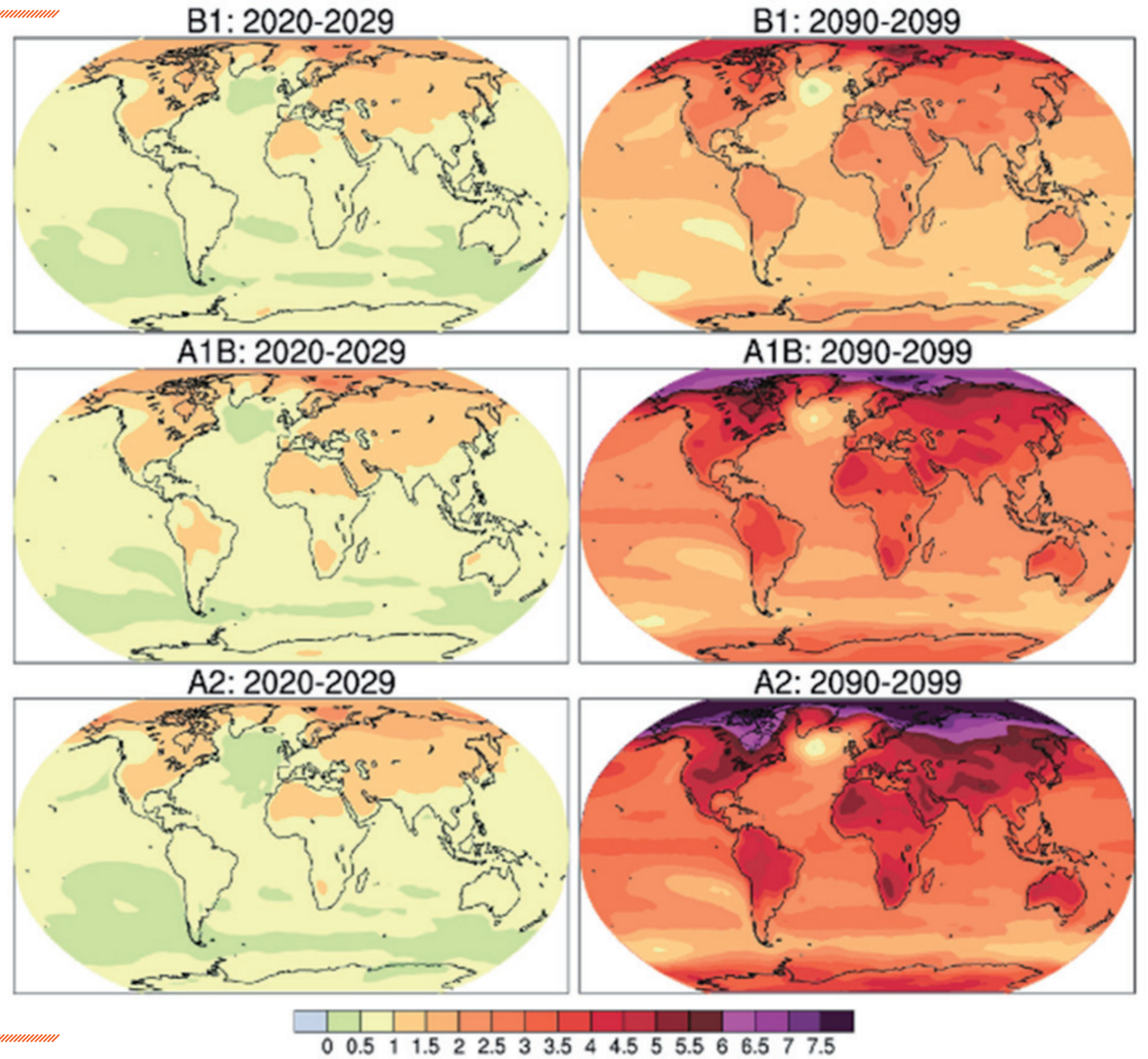
Les tendencias de la temperatura y la pluviosidá medies nun nos informen d'otros cambeos en procesos estremaos o eventos como la frecuencia de xelaes, xelaes na seronda o intensidad de temporales d'airón, foles de calor, seques braniegues o lluvies torrenciales

Modelos estremaos puen orixinar diferentes proyeiciones pal mesmu escenariu d'emisión o RCP, polo que s'analiza si'l sentíu y la magnitud de los cambeos son coherentes. Colos modelos al usu les proyeiciones de la temperatura suelen coincidir nel sentíu, magar que tengan diferencies na intensidá, pero suelen diferir inclusive nel sentíu na precipitación, lo que s'indica nes gráfiques que representen les proyeiciones. Pa cada escenariu o RCP dase la media de les proyeiciones de los modelos y los rangos de predicción (Fig. 7). La incertidume arreyada a la proyeición pa cada escenariu axúntase cola incertidume sobre cuál ye l'escenariu pel que dirá'l futuru de la Tierra.

¿Qué proyeuten los modelos globales sobre'l futuru del clima? Toles proyeiciones y tolos escenariu proyeuten un incrementu de la temperatura, más acusáu cuanto mayor seya la cantidá de GEI que s'emitan a l'atmósfera (Fig. 9); hai que se decatar que les gráfiques indiquen l'incrementu de temperatura que se produciría sobre la temperatura o pluviosidá media de la década del 60 al 90 del sieglu pasáu). Les proyeiciones tamién reflexen un calecimientu diferencial pa dixebras fasteres de la Tierra, con un calecimientu más acusáu nel Hemisferiu Norte y, sobre manera, a altes llatitúes (Fig. 9). El calecimientu yá ye perceptible, pero sedrálu inda más na década viniente, pudiendo algamar valores potencialmente peligrosos a lo cabero de sieglu, sobre too si se sigue la sienda del escenariu A2 del que nun tamos güei mui lloñe. Les proyeiciones sobre pluviosidá de los modelos globales (Fig. 10) indiquen qu'en delles fasteres la pluviosidá incrementará mentres que n'otra amenorará. España atoparíase ente les fasteres nes que se prediz una mengua sobre manera estival y serondiega.

DERECHA

Figura 9. Incrementos de temperatura respeuto a la media de 1960-1990 proyeutaos per aciu de modelos globales pa dos décadas d'esti sieglu: 2020-2029 y 2090-2099. Preséntense los resultaos algamaos pa tres escenariu SRES, B1, A1B y A2 (tomaos de IPCC AR4, Solomon et al. 2007). [Fonte n'inglés]



©IPCC 2007: WG1-AR4

ASTURIES Y LOS MODELOS REXONALES

Los modelos globales tienen problema arreyáu a la escala de trabayu, darréu que nun recueyen la orografía. Nel casu d'Asturies les cuadrícules nes que s'engloba nos distintos modelos suel emprimar nel Mar Cantábricu pel norte y acabar na meseta del Dueru pel sur; como resultáu, el Cordal Cántabro-Astur nun ta representáu. Pa iguar esti problema diseñáronse y desendolcáronse *modelos rexonales del Clima* (RCM), que pretenden analizar el clima nuna retícula d'aprox. 25 km de llau (trabáyase güei n'amenorgala a 10 km), que recueye la orografía d'un mou más claru. N'Europa trabayóse de forma pionera y

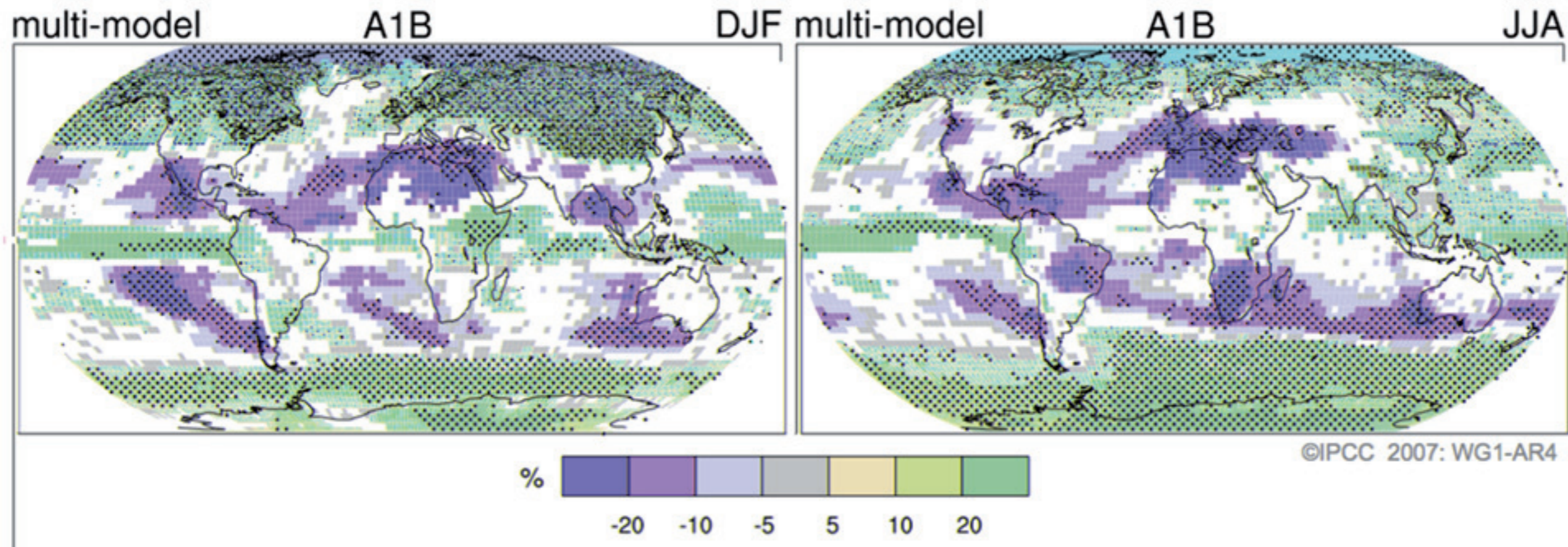
los resultaos analizáronse nel proyeutu européu ENSEMBLES (van der Linden y Mitchell, 2009). Dientro d'esi proyeutu européu l'equipu de la Universidad de Castilla-La Mancha desendolcó'l so modelu, PROMES (Castro y col. 1993). Estos modelos tán añeraos en modelos globales, que proporcionen les condiciones de contornu de la rexón que se quier modelar.

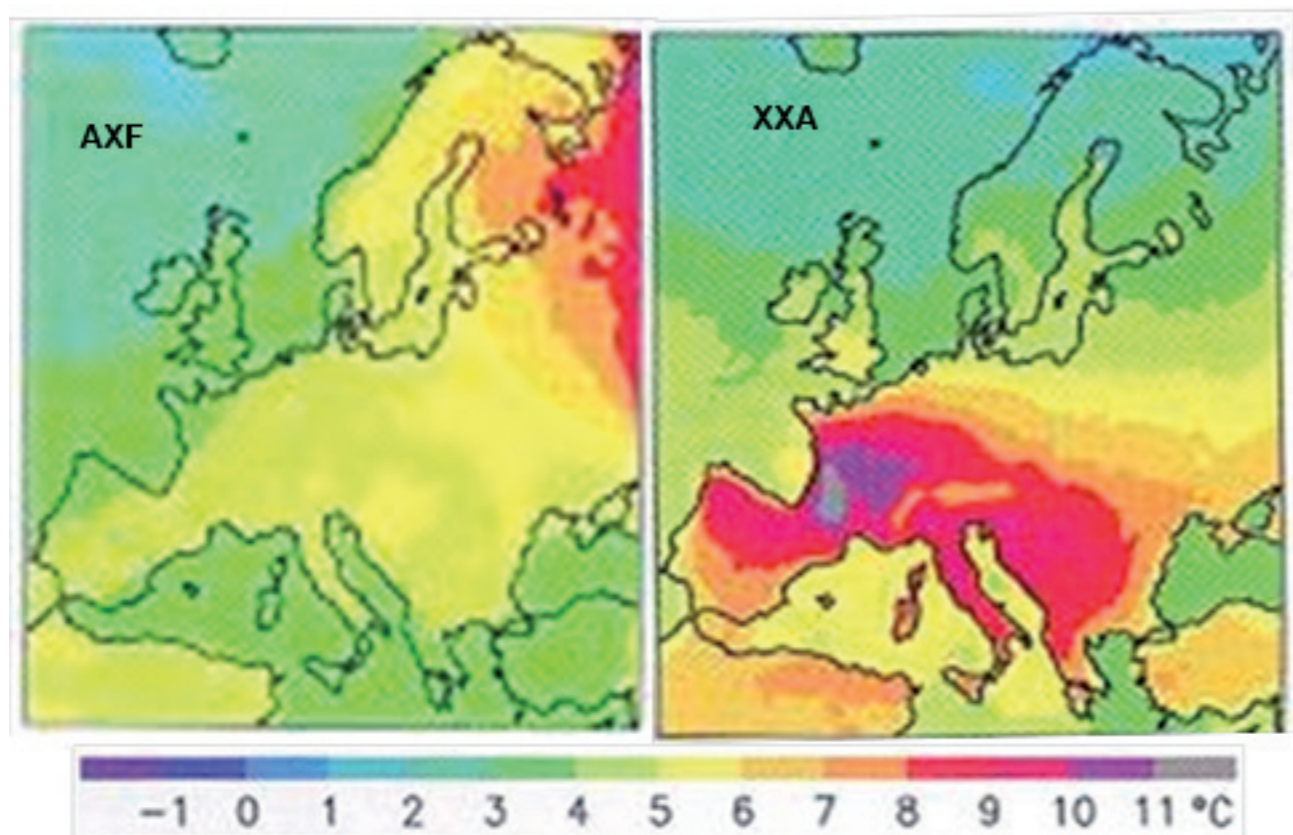
La primer conclusión a la que se llegó ye que los modelos rexonales proyeuten cambeos más acusaos, tanto n'intensidá d'esos cambeos como de les diferencies estacionales. Un modelu d'una institución sueca proporciona un bon exemplu de les diferencies ente'l norte y el sur

Nel añu 2009 fíxose un esfuerciu de recopilar datos afaláu dende la Oficina de Caltenabilidad, Cambéu Climáticu y Participación Pública del Principáu d'Asturies y deteutóse un incrementu d'especies mediterránees y un desplazamientu altitudinal d'especies

ABAXO

Figura 10. Cambeos porcentuales na pluviosidá proyeutaos por modelos globales pa lo cabero d'esti sieglu llográu col escenariu SRES A1B. Preséntense los resultaos p'avientu-xineru y febreru (DJF) y pa xunu, xunetu y agostu (JJA) (tomaos d'IPCC AR4, Solomon et al. 2007). (Fonte n'inglés)





d'Europa ente iviernu y branu (Rummukainen *et al.* 2004). Ye destacable que tolos modelos, los globales y rexonales proyeuten que'l mayor incrementu de la temperatura sobro la Península Ibérica sedrá braniegu (Fig. 11). Los resultaos del modelu PRUDENCE p'Asturies (Álvarez García *et al.* 2009) inciden nun resultáu asemeyáu pa los cuatro escenarios d'emisión analizaos. La temperatura medio incrementará más en branu y contra l'interior. Nel segundu terciu del presente sieglu delles fasteres podríen incrementar la so temperatura medio braniegu en más de 3°C y podría superar los 5 °C nel terciu de sieglu caberu nos escenarios A1 y A2. La temperatura medio añal podría incrementase en más de 4°C nel escenariu A1 (Fig. 12).

Les proyeiciones al respetive de la pluviosidá tienden a reflexar un descensu de la plu-

viosidá en tolos escenarios, y podría llegar a lo cabero de sieglu a superar el 40% la pluviosidá de referencia (años 60 a 90 del sieglu xx). Ye bono enseñar que la pluviosidá ivernal aumen-

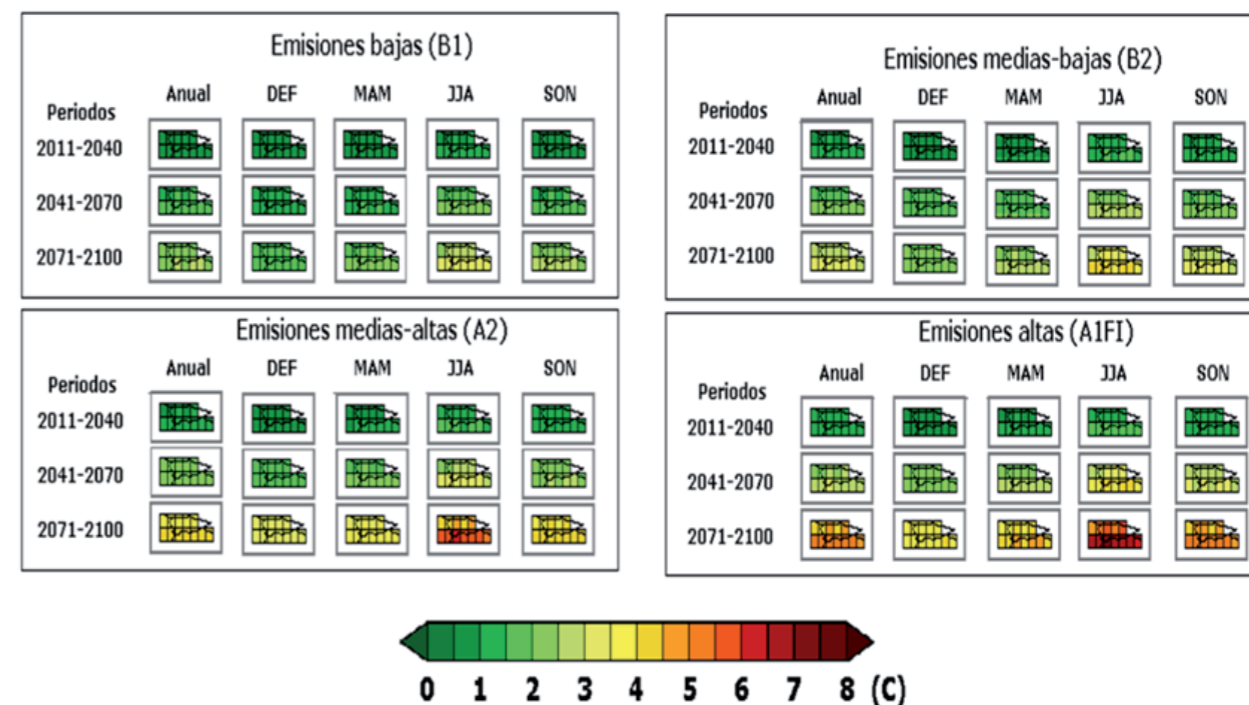
ARRIBA

Figura 11. Incrementos de temperatura respecto a la media de 1960-1990 proyeutaos pol modelu rexonal SWECLIM pa lo cabero del presente sieglu l'escenariu SRES A2. Preséntense los resultaos p'avientu-xineru y febreru (AXF) y pa xunu, xunetu y agostu (XXA) tomao de Rummukainen *et al.* (2004). [Fonte n'inglés]

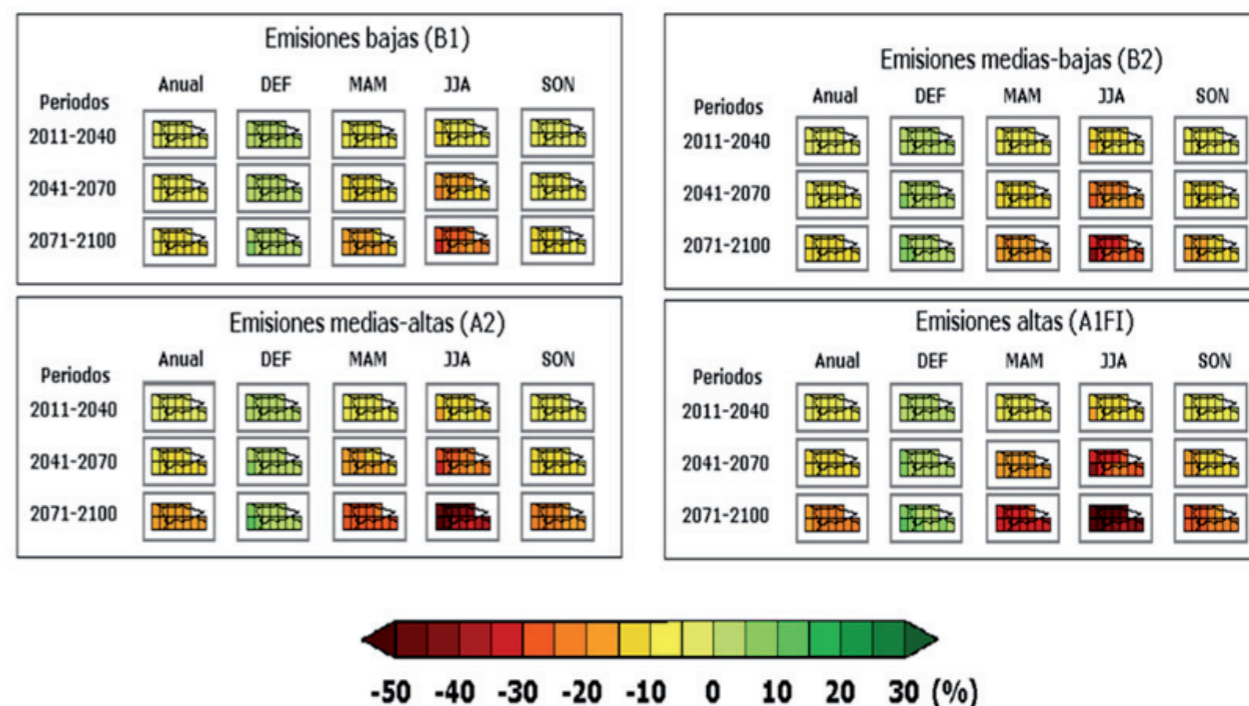
DERECHA

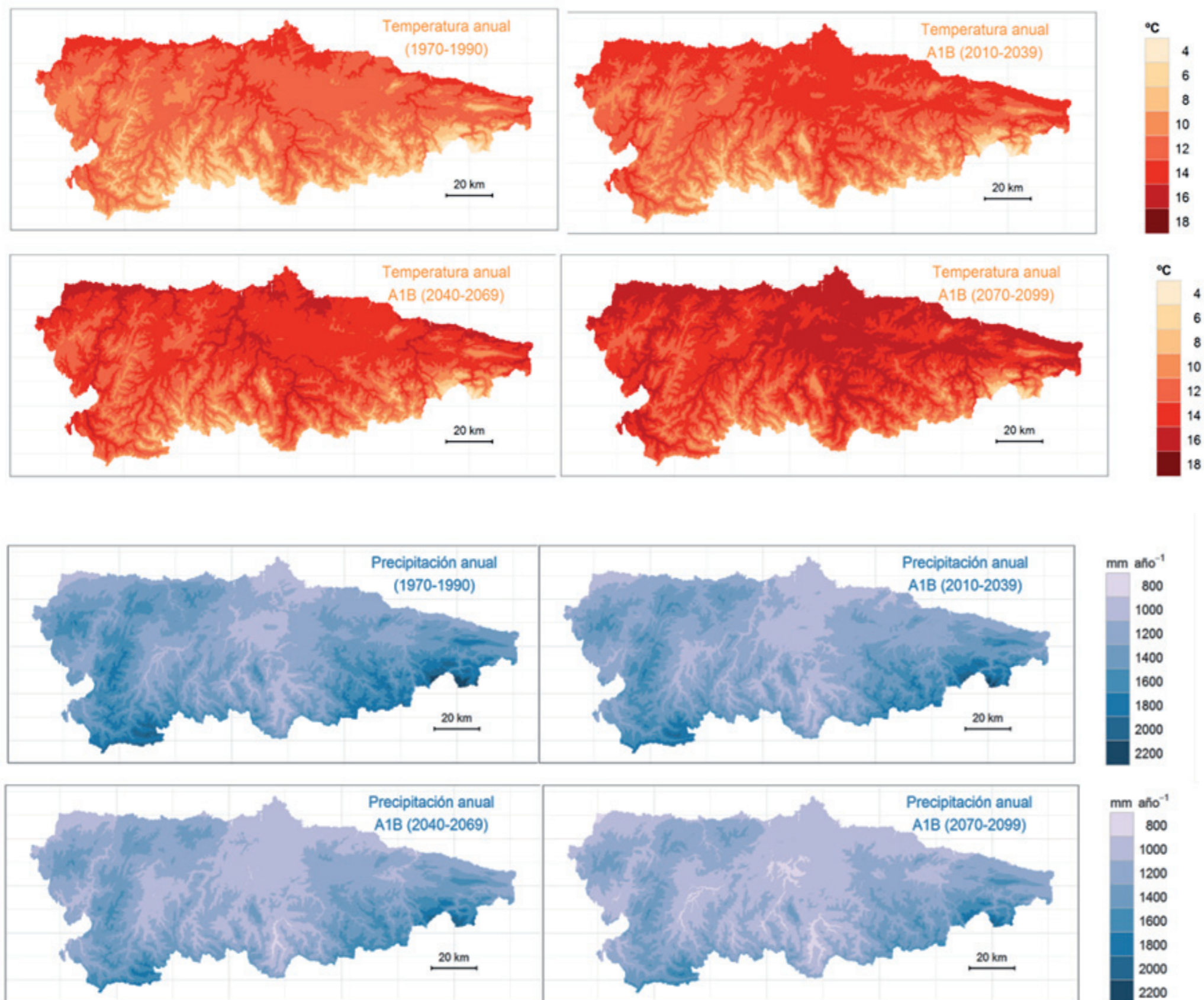
Figura 12. Proyeiciones remanecies del modelu PRUDENCE de los cambeos del permediu añal y estacional de la temperatura superficial (°C) (a) y de los permedios de la precipitación (%) (b) en cada periodu tridecadal d'esti sieglu al respetive del clima de 1961-1990. Considérense cuatro escenarios d'emisión, B1, B2, A2 YA1FI. Tomao d'Álvarez *et al.* (2009). [Fonte en castellanu]

Cambio de temperatura media respecto a 1961-90



Cambio (%) de precipitación media respecto a 1961-90





IZQUIERDA

Figura 13. Proyecciones de la temperatura medio [°C] (a, arriba) y la precipitación [mm/año-1] (b, embaxo) pa tres décadas del presente sieglu y del periodu de referencia 1970-1990 pal escenariu A1B. Tomao de González-Taboada y Anadón (2011). Datos accesibles en <http://idebos.bio.uniovi.es/GeoPortal/Atlas/> [Fonte en castellanu]

taría de forma llixera en tolos escenarios acordies con esti modelu. La mariña y la faza de monte veríense igualmente afeutaes (Fig. 12).

Si s'analicen los cambeos a una escala reducida como yá se comentó al falar del clima pasáu, esta vegada considerando los resultaos del proyeutu ENSEMBLE pal escenariu A1B (González-Taboada y Anadón 2011), proyétase un incrementu importante de la temperatura medio na mariña y los valles interiores que superaría los 4 graos a mediados de sieglu, tendencia muncho más marcada el postrer terciu del mesmu (Fig. 13). La precipitación menguaría a tolo largo del sieglu de forma cuasi inversa al incrementu de la temperatura (Fig. 13) concentrándose les fasteres de baxa pluviosidá na costa y na fastera central d'Asturies. La reducción pue llegar a ser mui significativa a lo cabero de sieglu.

Les proyecciones sobro tendencias de temperatura y pluviosidá media, seya ésta añal o trimestral, nun nos informen d'otra clas de cambeos que s'atisben a partir del estudiu del clima pasáu, como'l cambéu na estacionalidá d'estremaos procesos, o pelo menos de dalgunos eventos, como la frecuencia de xelaes, la probabilidad de xelaes serondes, frecuencia ya intensidad de temporales d'airón, ente otros munches. Tampoco nun nos informa de la ocurrencia y frecuencia d'eventos estremos: foles de calor, frecuencia de seques braniegues o de lluvies torrenciales, tamién ente delles otros. Hai dalgu-

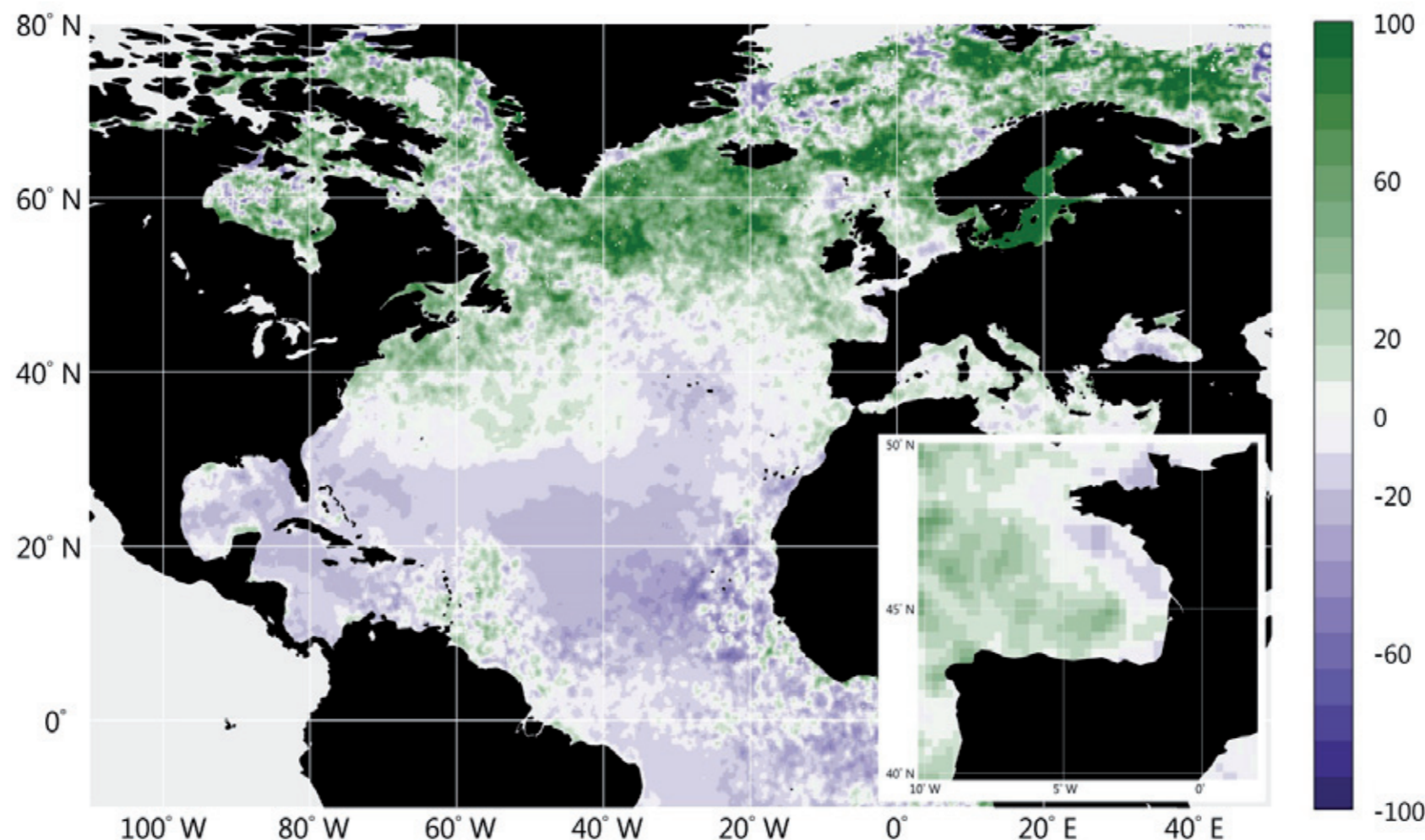
nos modelos que faen proyeiciones sobre eventos estremos, sobre la so probabilidad d'ocurrencia, pero suelen presentar una dispersión alta de les proyeiciones.

Una de les cuestiones sobre les qu'hai alcuertu, pero inda ensin iguar nos modelos de proyeición climática, ye la probabilidad de que se produzcan cambeos relativamente rápidos a escala global o rexonal. Esto podría ocurrir si'l sistema climáticu supera situaciones conocíes (paleoclima) y s'asitia nun mundu sobre'l que nun tenemos esperiencia previa y nel que puen producirse estes anomalíes. Esta sedría la situación si la temperatura medio de la Tierra superare los 2°C d'incrementu, entós entraríamos nun terrén que pue deparar sorpreses col nuesu nivel de conocimientos actual

IMPAUTOS DEL CAMBÉU CLIMÁTICU N'ASTURIES

Si nos decatamos que munchos fenómenos naturales o actividaes humanes puen tar arreaos a múltiples influencias o a la so propia variabilidad, entiéndese la dificultá d'atribuyir a una sola causa complexa, nesti casu'l cambéu climáticu (temperatura, precipitación, aires, xelaes, etc.), los camudamientos que s'observen. Ye distinto, por exemplu, si'l cambéu climáticu pue manifestase pente medies de cambeos graduales o como cambeos na frecuencia ya intensidá d'eventos estremos.

L'efectu del cambéu de clima maniéstase nos ecosistemas y les especies, na agricultura y silvicultura, les pesqueríes, les llenes, les foles de calor, l'espardimientu o retraición de plagues y d'animales tresmisores d'enfermedaes, la salú humana, la producción y tresporte d'enerxía lléctricu, ente otres munches actividaes económi-



ques (IPCC 2007), lo qu'esixe modelos de respuesta de caúna de les actividaes y conlleva inxertar nuevas incertidumes nel análisis. P'amenorgar les incertidumes na proyeición d'impautos necesitamos establecer la **vulnerabilidad** a la que taría sometíu cada aspeutu; l' IPCC defínela (AR4 2007) como «el grau nel qu'un sistema ye susceptible a, ya incapaz de, facer frente a los efeutos adversos del cambéu climáticu, incluyendo la variabilidad y los estremos climáticos», y eso dependería del so grau d'esposición, la so sensibilidá y de la so capacidá adautativa. Habríamos amás establecer el **riesgu** al que taríamos sometíos, o «determín del valor cuantitativu o cualitativu de los riesgos venceyaos con una situación

ARRIBA

Figura 14. Tasa de cambéu observada ente 1998 y 2012 na concentración de clorofila a na superficie del mar [% por década] nel Atlánticu Norte y nel golfo de Vizcaya. Midíes estimaes a partir de la base de los datos disponibles na Ocean Color Web [Feldman y McClain 2012]. Tomao de González-Taboada y Anadón, en prensa.

concreta y una amenaza reconocida, como sedría'l cambéu climáticu». El riesgu depende en gran midida de los bienes y númeru de persones potencialmente afeutaos.

En resume, nun ye un llabor cenciellu determinar los impautos ya aportaos, y tien abondes dificultaes proyeitalos al futuru. Y si eso ye cierto a escala global, la escasez de trabayos qu'analicen l'impautu del cambéu climáticu n'Asturies fai que la nuesa conocencia de lo ya asocedió o de les proyeiciones d'impautos seya bastante fragmentaria. Nel añu 2009 fíxose un esfuerriu de recopilación afaláu daquella dende la *Oficina de Caltenibilidad, Cambéu climáticu y Participación Pública del Principáu* (Anadón y Roqueñí eds. 2009). A lo pañao naquel momentu hai qu'amestar los escasos trabayos que se produxeron nel tiempu trescurriu. Pa facer más fácil la comprensión resumiránse les principales modificaciones ya observaes y les proyeiciones feches en forma de cuadros sinópticos.

Los principales **cambeos deteutaos n'especies y ecosistemas terrestres** (ver Cuadru 1) entren dentro de la lóxica del cambéu climáticu. Detéutase un incrementu d'especies mediterránees, un desplazamientu altitudinal d'especies –ye'l casu de les abeyones (Ploquin 2012)–, al empar que los descensos poblacionales danse n'especies con carauterístiques boreales. Dalgunos de los cambeos que se deteuten podríen aniciase en causes estremaes a la del cambéu climáticu, como sedría'l casu del faisán o gallu montés, especie sometida a les influencias d'otros procesos como'l camudamientu nel réxime de cortes y la estructura de los montes, camudamientos na densidá de depredadores, etc., magar que la influencia climática seya

CUADRU 1. Dalgunos impautos venceyaos al cambéu climáticu deteutaos nel informe *Evidencias y Efectos potenciales del cambio climáticu en Asturias* CLIMAS, Anadón y Roqueñí (eds.) (2009) relativos a flora, fauna y ecosistemas.

- Deteutóse un incrementu d'especies de plantes d'aniciu mediterraneu.
- Delles especies singulares reduxeron la so densidá (faisán), o amenorgaron dalgunes clases d'edá o vieron alteraos los sos ciclos biológixos (hai menos salmones de tres años y la edá de migración al mar d'esguinos redúxose).
- Nun se dispón d'estimaciones sobro la respuesta de les viesques al cambéu climáticu.
- Deteutóse una merma de la vida media de les fueyes d'árboles perennifolios, y un incrementu de la duración de les fueyes n'especies de fueya cayedizo ampliando'l periodu vexetativu.
- Incrementóse la frecuencia de fallos na fructificación al adelantase la floración, siguida d'un periodu fríu.
- Adelantóse la floración de dalgunes especies de plantes, como mazanales y bericiu, y la llegada d'aves migratories.
- Deteutóse un desplazamientu altitudinal n'abeyones.*
- Deteutóse un cambéu na alimentación del osu, posiblemente venceyáu al cambéu ambiental.*
- Deteutóse de mou recién l'añerar d'especies d'aves de triba mediterránea.
- El nivel del mar ta xubiendo unos 3 mm añales y aceleró nes últimes décadas.
- Deteutase un incrementu del periodu d'estratificación nel océanu.
- Redúxose la fastera de distribución de macroocles marines, fucácees y laminariales, desanicándose delles.
- Deteutóse l'apaición o incrementu de l'abundanza d'especies d'ocles y pexes típicos d'agua templado-cálido.
- L'agua del mar acidificóse.
- Deteutóse un incrementu de la intensidá del aire y nel altor de la fola significativa.
- Deteutáronse cambeos na estacionalidá de los periodos d'afloramientu.
- Deteutóse un desplazamientu hacia'l norte d'unos 1000 km d'especies de zooplancton (copépodos).
- Deteutóse un cambéu importante na estacionalidá de la producción primaria marina.*
- Nun se deteuten cambeos en bienes aseguraos que se puean asociar al cambéu climáticu.
- Nun se deteuten tendencias na frecuencia d'ádenes o n'argayos.
- Rexistróse un incrementu nel númberu de quemes, pero una mengua de la superficie quemada.

* Les conclusiones indicaes con un asteriscu nun remanecen de les conclusiones de CLIMAS.

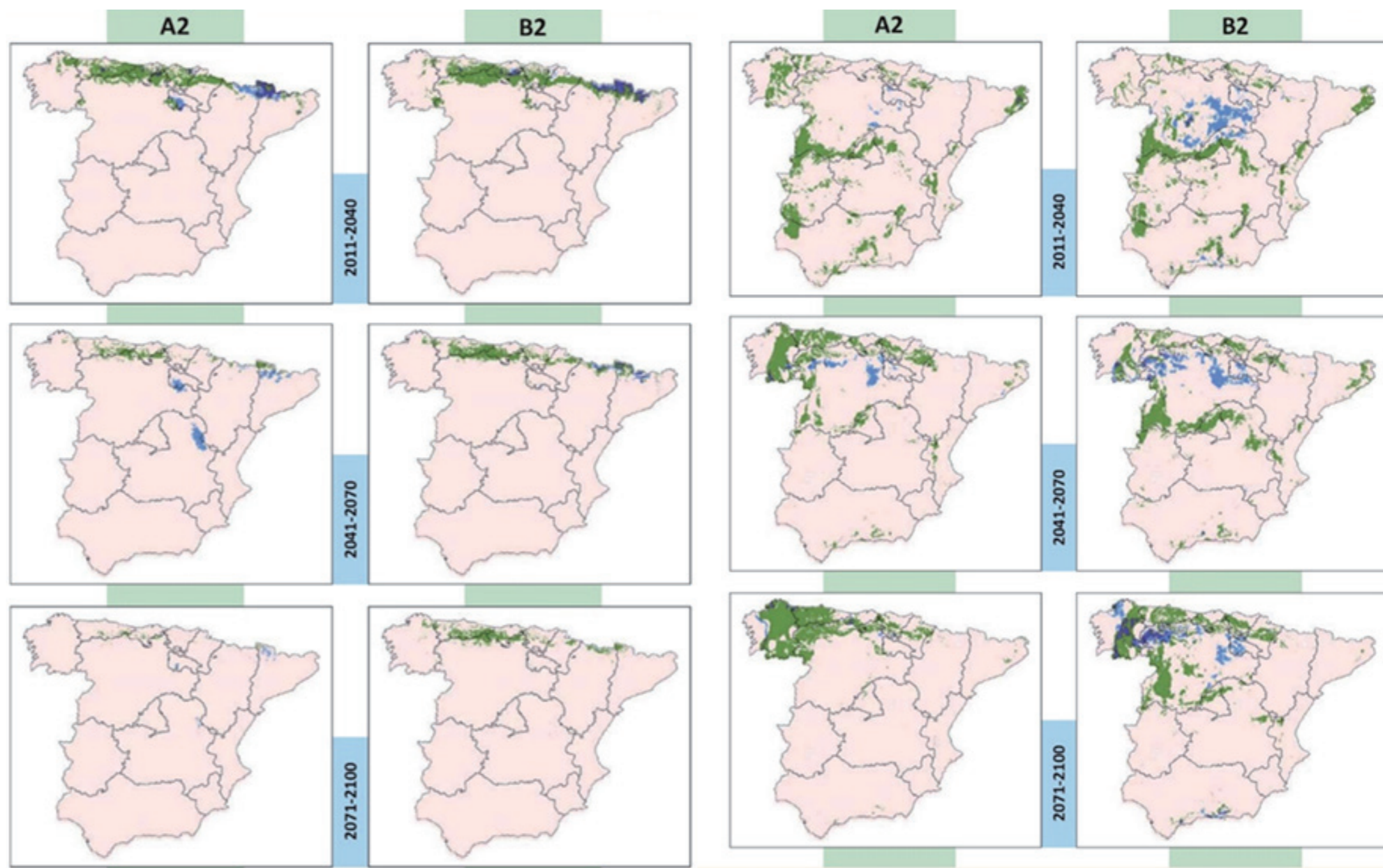
bastante probable. Otros cambeos, como los d'alimentación n'osos (Naves *et al.* 2006) podríen venceyase a modificaciones interañales na producción de frutos nel so ambiente, arriendes d'una influencia del clima mediada pola vexetación. Sicasí, nun hai información detallada sobro cambeos nes comunidaes vexetales nin na producción de semiente y frutos, inda que sí en dalgunes respuestes de les fueyes y nun índiz de verdor detectáu dende satélites (Braña *et al.* 2009).

Nel mediu marín, posiblemente pol mayor esfuericiu n'estudios continuaos en tiempu, deteutáronse camudamientos perimportantes (ver Cuadru 1). Xunto coles variaciones mui xenerales, xuba del nivel del mar o acidificación del agua, l'incrementu de la temperatura, sobre manera braniego, ye significativa na costa asturiana (González-Taboada y Anadón 2011). Posiblemente esta xuba tea en parte venceyada a otre modificaciones como sedría'l periodu d'estratificación o'l réxime d'afloramientos.

Seya del mou que seya, les comunidaes biolóxiques tán modificándose. Nel casu de les comunidaes de la faza intermareal, la tresformación ye abondo evidente, produciéndose una mengua d'especies y comunidaes típiques de la rexón boreo-atlántica. Eso quier dicir que l'amenorgamientu produzse pela parte de Galicia, mientras avancen especies y comunidaes frecuentes nel interior del Golfu de Vizcaya (Fernández 2011, Lamela *et al.* 2012). Nes dos últimes décadas deteutáronse, a partir d'imáxenes de satélite, camudamientos na concentración de clorofila nel Cantábricu central (Fig. 14) (González-Taboada y Anadón 2013). Gracias al proyeutu RADIALES del IEO tamién se punxeron de manifiestu cambeos nes carauterístiques oceanográfiques y de la comunidá peláxica (Bode *et al.* eds. 2012). Los cambeos deteuten nes pesquerías, tanto pola apaición d'especies nueves como por descensos o aumentos nes captures d'especies nes rules asturianas (Anadón *et al.* 2009).

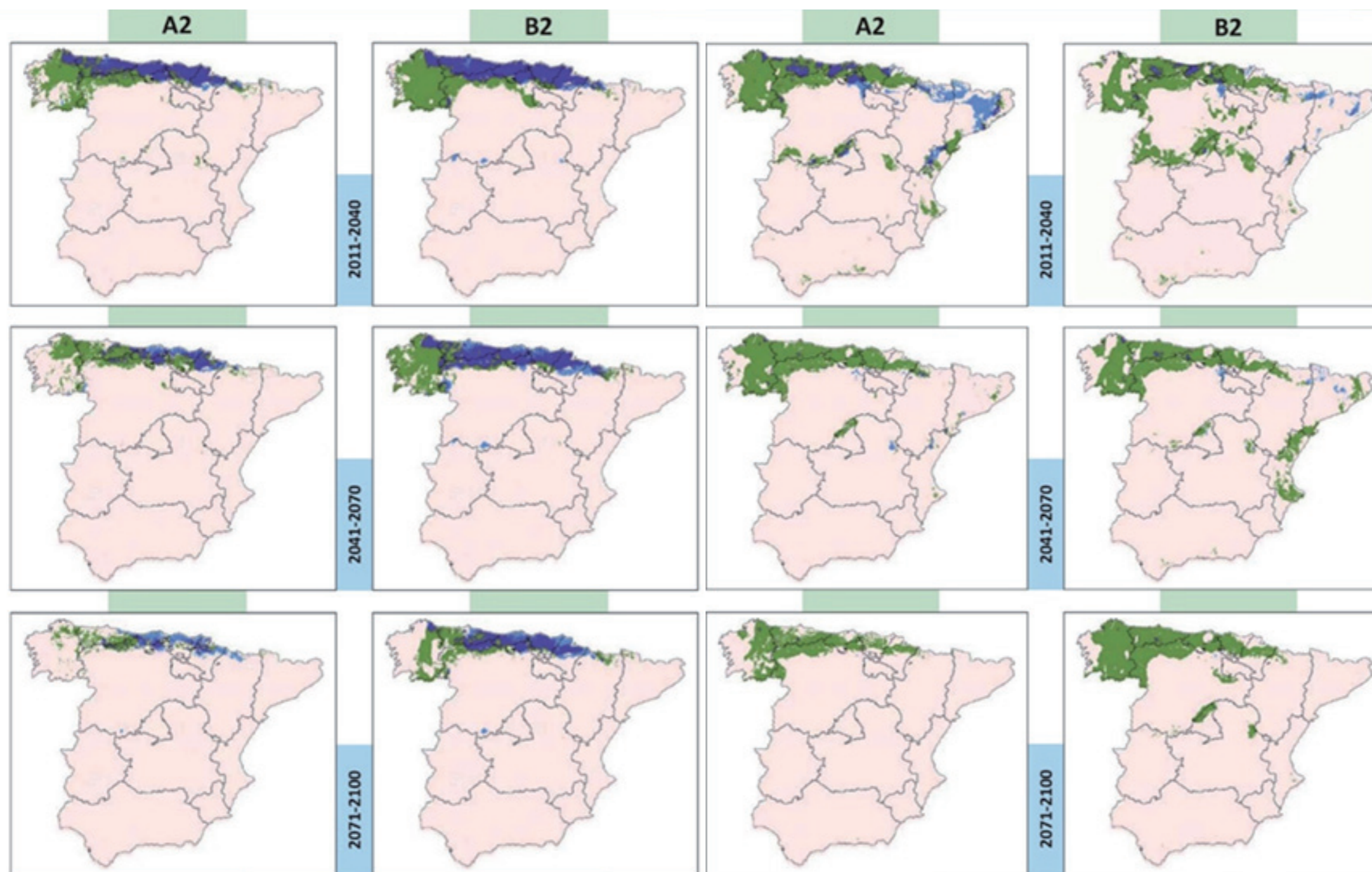
Nes comunidaes de la faza intermareal la tresformación ye abondo evidente y mengüen especies y comunidaes típiques de la rexón boreo-atlántica. Nes últimes décadas deteutáronse camudamientos na concentración de clorofila nel Cantábricu central

Les proyeiciones existentes, **tanto pal mediu terrestre como pal marín**, (ver Cuadru 2) indicarién un enclín a la sustitución d'especies atlántiques y de fasteres lentes por especies de climes más secos. Ente les especies afeutaes negativamente taríen la faya y el carbayu, mientras que la castañal o la sufrera podríen tar favorecíos y ampliárense les fasteres aptes pa estes especies (Felicísimo 2011) (Figs. 15 y 16). En tou casu siempre hai que tener presente otru aspeutu importante que ye la diseminación de les especies, que tendría llugar nun ambiente mui humanizáu y tresformáu; por ello les fasteres potencialmente favoratibles podríen nun s'ocupar o necesitaríen midíes de xestión pa superar estes torgues, magar qu'estes nun paezan existir nel casu de plantes con frutos carnosos (Martínez y González-Taboada 2009). Ente los vertebrados terrestres ye llarga la llista d'especies que güei viven na zona meridional de la Península Ibérica que s'afayaríen nel futuru n'Asturies (Araújo *et al.*, 2011): gallipatu, camaleón, salamanquesa, sacaverina de rabu llargu, abeyerucu, pega azul, cigüeña prieta, utre prieta, mangosta común o exipcia, o la cabra montesa (Figs. 17 y 19). Tamién ye llarga la llista d'especies qu'habiten y son carauterístiques de la fauna asturiana que nun tendríen un clima potencialmente afayadizu (Araújo *et al.*, *op.cit.*): xaronca parda, guardafontes pirenaicu y alpín, llagartesa vivípara, víbora de Seoane, faisán o gallu montés, pardina o perdiz parda, frangüesu, llastrina, gurrión de neveru, robecu y osu pardu (Fig. 18). Otres especies veríen mermada la estensión de la fastera favoratible: guardafontes palmíu y grande, llobu, ratu ríu, fuina, algaire o gatu montés, mustadiella blanca, etc. (Fig. 19). Toes estes proyeiciones indicarién qu'a lo cabero de sieglu, y dependiendo de los escenarios, la naturaleza



ARRIBA

Figura 15. Mapes de distribución potencial futura de la Faya (*Fagus silvatica*) [izquierda] y la Sufrera (*Quercus suber*) [derecha] en tres periodos del presente sieglu pa dos escenarios d'emisión. Vese una mengua persignificativa de la potencialidá de la faya contra mediaos del sieglu xxi n'entrambos escenarios y el so casi desanicu a lo cabero de sieglu. Tomao de Felicísimo *et al.* (2011). Los colores azul escuro, azul claro y verde son el resultáu de l'aplicación de tres modelos climáticos diferentes.



IZQUIERDA
 Figura 16. Vese una mengua persignificativa de la potencialidá del Carbayu (*Quercus robur*) a metá del sieglu XXI, mengua que sigue hasta lo cabero de sieglu [izquierda], mientras que podría producise una espansión del área potencial de la Castañaal (*Castanea sativa*) [derecha]. Tomao de Felicísimo et al. (2011).

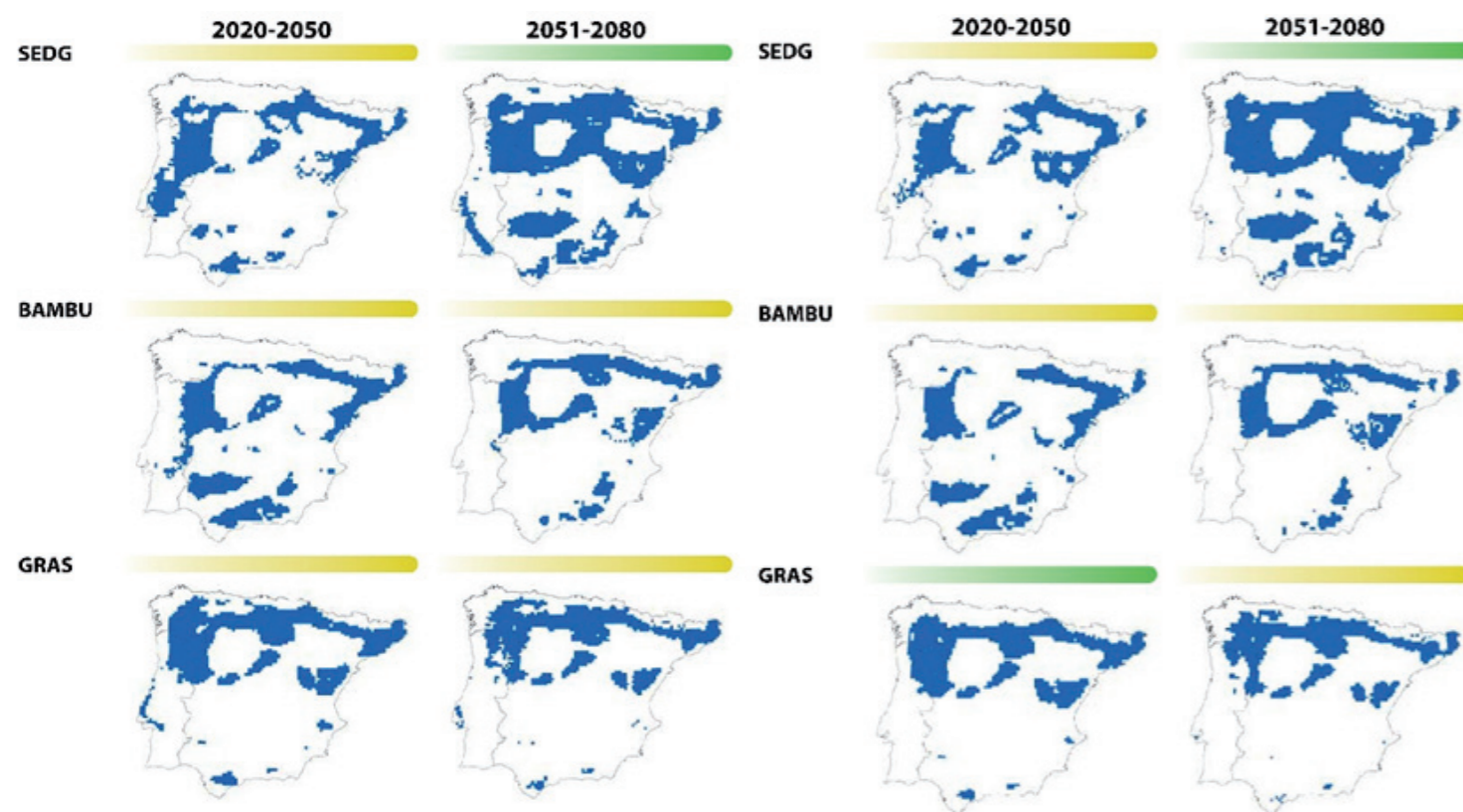
Los recursos forestales puen vese afeutaos por una mengua de la productividá y cambeos na composición de les especies. Ente les especies afeutaes negativamente taríen la Faya y el Carbayu, la Castañaal podría vese favorecida

asturiana sufriría una tresformación acusada. Lo que queda indefinío ye'l tiempu de la tresformación, darréu que los modelos d'interacción clima-organismos consideren les condiciones medies y non les situaciones estremes, que como yá se dixo, puen xenerar cambeos muncho más rápi-

dos. Tampoco nun se tien en cuenta la velocidá a lo que van tener llugar estos cambeos nin la so dinámica espaciotemporal.

Nel **mediu marín y costeru** tamién ye predicible un cambéu asemeyáu, sobre manera si tenemos en cuenta que yá se produxeron cam-

beos reconocibles y trescendentes. Posiblemente un cambéu importante seya'l que se produza nes sableres y dunes llitorales como respuesta a la xuba del nivel del mar y al cambéu na intensidá y sen de los aires dominantes (Anadón et al. 2009). Magar que los modelos predictivos



ARRIBA

Figura 17. Proyección llograda per aciu de modelos de la distribución potencial futura de la Cigüeña Prieta (izquierda) y la Utre Prieta (derecha). Tomao d'Araújo et al. (2011). Los tres escenarios son equivalentes a escenarios IPCC: BAMBU (Business as Might Be Usual) ye equivalente al escenariu A2. GRAS (Growth Applied Strategy) ye equivalente al escenariu A1FI. SEDG (Sustainable European Development Goal) ye equivalente al escenariu B1.

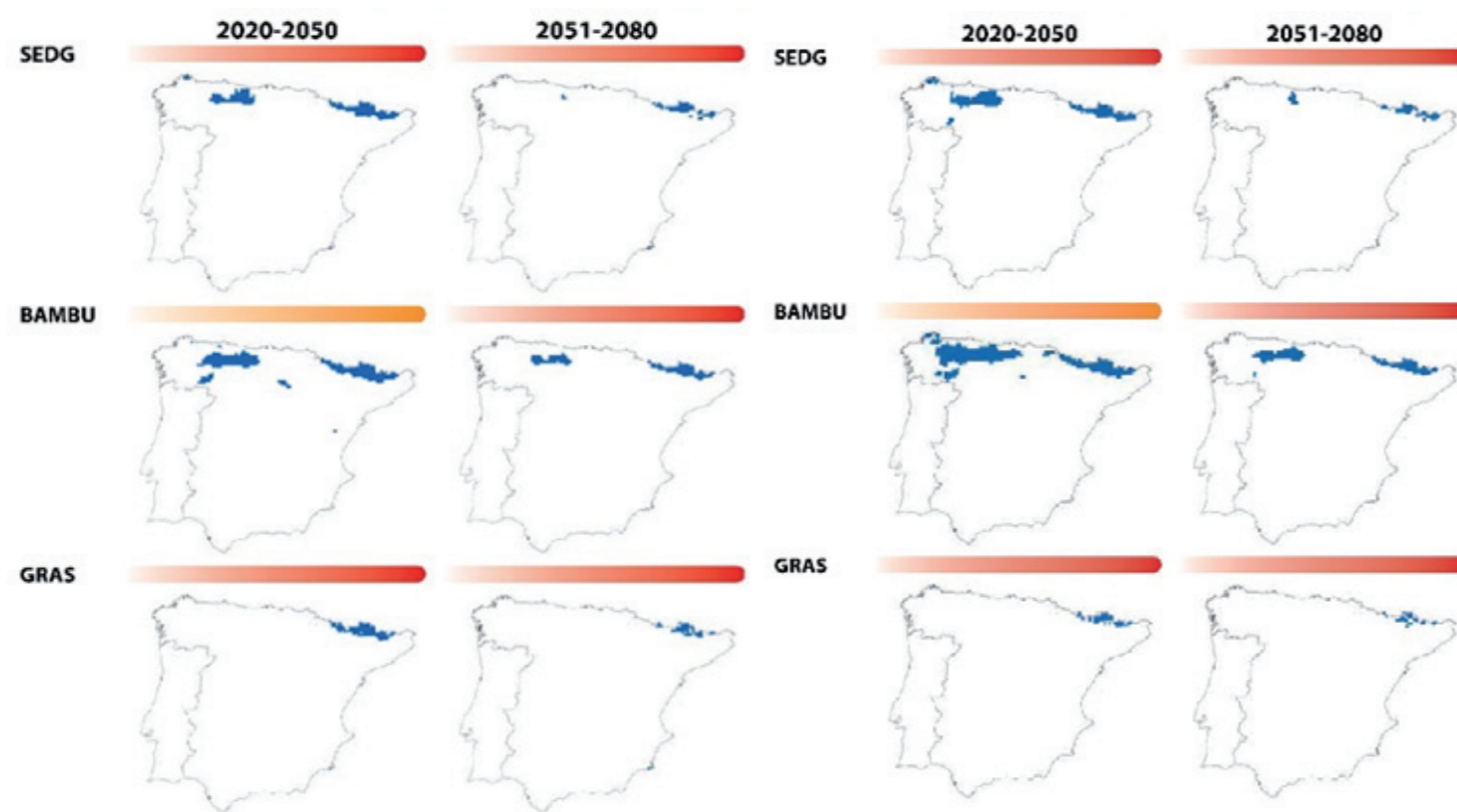
nun seyan claros, entra dentro de lo posible que se produzcan cambeos importantes na estacionalidá de procesos hidrográficos significativos, periodos d'afloramientu, espardimientu de la estratificación, intensidá de la mestura ivernal, dellos derivaos de los cambeos na circulación atmosférica, mentanto qu'otros remanecerien de los cambeos nes propiedaes termohalines de les estremaes mases d'agua presentes nel mar Cantábricu. Nel casu estremo, la espansión de la

fastera permanentemente estratificada y poco productible podría modificar de forma global les condiciones del Cantábricu, d'un mou asemeyáu al que proyeuten Polovina et al. (2011) nel Pacíficu Norte. Les comunidaes y organismos presentes seguirien una tendencia asemeyada, con una mayor incidencia d'especies d'agua templao-cálido y la tendencia al desaniiciu d'especies d'agua frío, venceyada a un incrementu importante de la temperatura del agua.

CUADRU 2. Dalgunos impautos venceyaos al cambéu climáticu proyeutaos nel informe *Evidencias y Efectos potenciales del cambio climático en Asturias* CLIMAS, Anadón y Roqueñí (eds.) (2009) relativos a flora, fauna y ecosistemes.

- Los modelos de respuesta predicen que seguirá la colonización per parte d'elementos d'aniciu mediterraneu que se verá facilitada por un clima más secu.
- Prevénse riesgos pa especies que tienen la so llende sur de distribución n'Asturies, como la camarina negra (*Empetrum*) y les plantes de monte tenderán a llimitar la so presencia a llugares de menor insolación.
- Los modelos d'hábitat existentes proyeuten una mengua del hábitat d'árboles carauterísticos como faya, carbayu, rebollu, carbayu albar o'l carrascu o xardón. Otres especies atoparán meyores condiciones nel futuru como sufrera, castañal, lloréu o l'ocalitu*.
- Modelos de distribución potencial futura d'especies de vertebrados terrestres indiquen el desaniiciu d'especies emblemátiques, ente otres l'osu, faisán, frangüesus, la merma de la fastera potencial de distribución d'otres, guardafontes grande, llobu, ratu agua, mustadiella blanca, mientras que tendríen condiciones potencialmente afayadices munches especies mediterránees como'l gallipatu, salamanquesa, abeyerucu, rabillargu, cigüeña prieta y utre prieta*.
- La xuba de la temperatura de los ríos o'l cambéu del so réxime pue afeutar a les especies d'agua dulce como la llamprea.
- Los modelos proyeuten un incrementu continuáu de la temperatura del mar magar qu'inferior a lo atmosférico.
- Los modelos disponibles predicen una elevación del nivel del mar d'ente 40 y 150 cm a lo cabero de sieglu dependiendo del escenariu*.
- Los modelos predicen un incrementu significativu de la cota d'inundación y un retrocesu de la llinia de costa, sobre manera en sableres encaxaes y nos puntales de la desembocadura de ríos.
- Proyéutase una mengua continuada del pH del agua de mar que podría afeutar a los organismos calcificantes, moluscos, crustáceos, corales o microocles ente otros.
- Ye esperable la espansión del periodu d'estratificación que se pue ampliar si la espansión de les fasteres oligotrófiques que se deteutó algama estes llatitúes.
- Ye esperable un cambéu na estacionalidá de los eventos de afloramientu.
- Dalgunos modelos proyeuten una merma de la productividá primaria planctónica, y ye cuasi seguro que se modificará la so estacionalidá.
- Nun se dispón de modelos qu'evalúen l'efeutu potencial del desaniiciu d'ocla formador de dosel nin de los posibles efeutos en cascada que puean remanecer*.

* Les conclusiones indicaes con un asteriscu nun provienen de les conclusiones de CLIMAS.



LES RESPUESTES N'ASTURIES

Los estudios sobre la respuesta n'Asturies de la población, de la economía o de la explotación de los recursos al cambéu climáticu nun son abondosos (ver Cuadros 3 y 4). Nun se detectaron cambeos na salú arreyaos al cambéu climáticu nin se dispón d'estudios sobre cambeos nos vectores d'enfermedaes. Ye de solliñar que nuna fola de calor en 2003 deteutóse un incrementu de la mortalidá humana (Margolles *et al.* 2009). Tamién se deteutaron efeutos perxudiciales nes explotaciones agrícolas o forestales, bien por problemas fisiolóxicos venceyaos a la seca braniega –como na mazanal (Dapena *et al.* 2009) – o al incrementu de plagues forestales como la Procecionaria del Pinu (Cámara y Majada 2009). Deteutóse tamién un cambéu nos desembarcos de pesca, con mengua de dalgunes espe-

ARRIBA

Figura 18. Proyeición llograda per aciu de modelos de la distribución potencial futura Faisán (izquierda) y l'Osu (derecha). Tomao d'Araújo *et al.* (2011). Los tres escenarios como na figura 17.

DERECHA

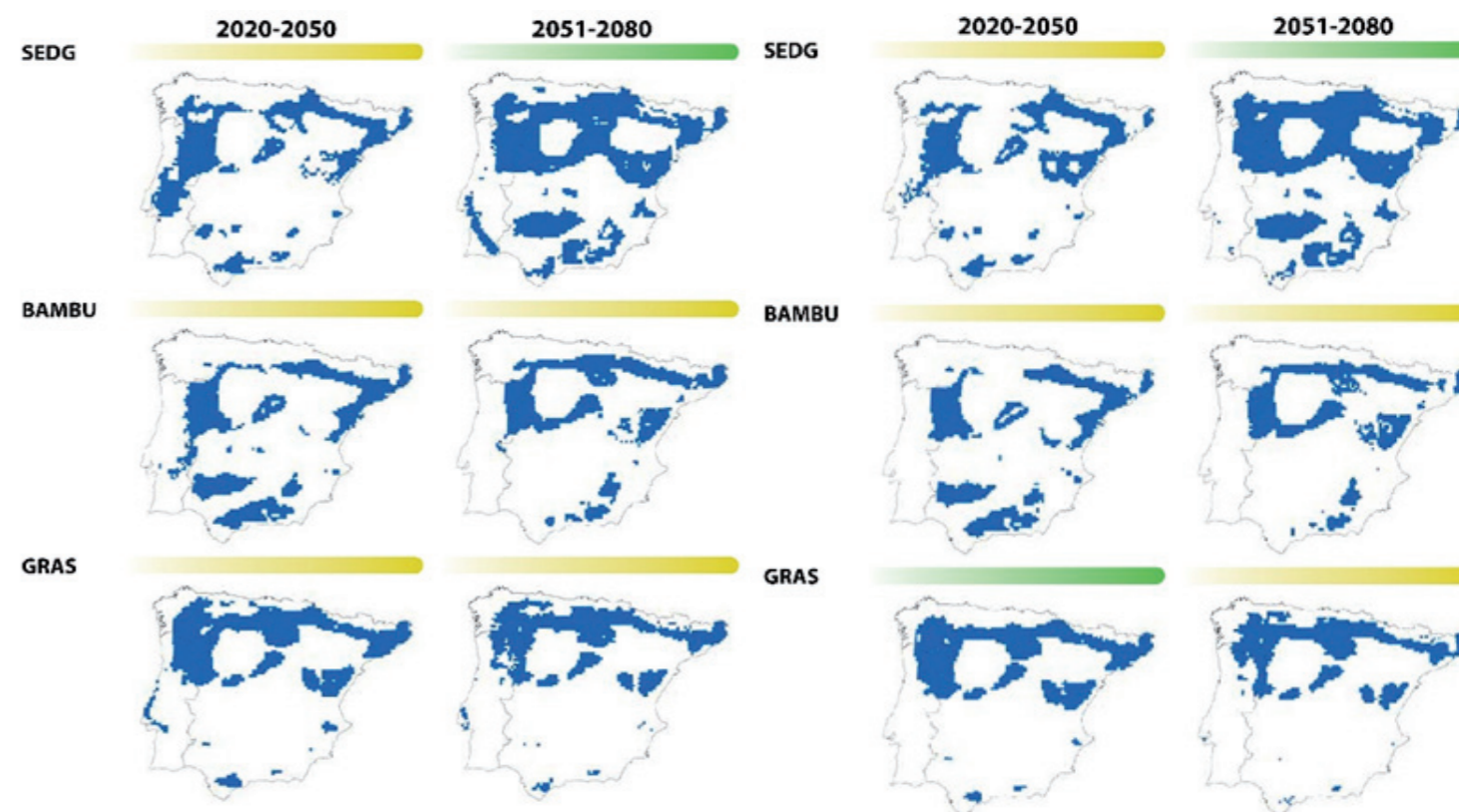
Figura 19. Proyeición llograda per aciu de modelos de la distribución potencial futura de la Cabra Montesa (izquierda) y el Llobu (derecha). Tomao d'Araújo *et al.* (2011). Los tres escenarios como na figura 17.

cies sobre manera de pexes peláxicos: sardina, bocarte, chicharru, o de pulpu, mientras medró n'otres como xarda y saramollete o salmonete.

Respeuto a **recursos hídricos o actividaes industriales**, les señales de respuesta son menores. Deteutóse una merma pequeña nos caudales añales de los ríos, inda que nun tea claro'l papel de la mengua pluviométrica nel periodu d'estudiu. Esta mengua nun tuvo reflexu na producción hidroeléctrica. La industria asturiana sigue siendo dependiente del carbón, colo qu'ello representa dende'l puntu de vista de les emisiones de gases d'efeutu ivernaderu. Pero, al empar desendolcóse una industria de producción d'aeroxeneradores y llantáronse muchos parques eólicos. Tamién ta trabayándose en teunoloxíes de captura de CO₂ y propunxéronse fasteres pa l'acumulación sote-rraña masiva, pero entrambes iniciatives tienen que se concretar nel futuru.

Los **proyeiciones hacia'l futuru** (ver Cuadru 4) falen d'un incrementu potencial de los vectores de tresmisión d'enfermedaes, como mosquitos y cachiparres, cola incorporación d'especies potencialmente problemátiques como'l Mosquito Tigre o los flebótomos (Lucientes, 2009). L'aumentu de les foles de calor que se proyeuten podría causar incrementos puntuales de mortalidá, como yá asocedió en 2003.

Los **recursos forestales** puen vese afeutaos por una mengua proyeutada de la productividá forestal, y por cambeos na composición de les especies. Los modelos de distribución climática actual y futura de les especies forestales proponen un cambéu de composición y distribución drástica (Felicísimo *et al.* 2011; <http://forest.jrc.ec.europa.eu/>). Les especies que se vean afeutaes negativamente podrán presentar daños fisiolóxicos y por plagues importantes, y



CUADRU 3. Dalgunos impautos venceyaos al cambéu climáticu deteutaos nel informe *Evidencias y Efectos potenciales del cambio climático en Asturias* CLIMAS, Anadón y Roqueñí (eds.) (2009) relativos a respuestes humanes y de los sos recursos.

- Nun se deteutaron efeutos del cambéu climáticu sobre la salú humana.
- Deteutóse un incrementu de la mortalidá na fola de calor de 2003, venceyada al cambéu climáticu de recién.
- Deteutáronse cambeos estacionales na abundanza de polen d'estremaes especies potencialmente alerxénico.
- Munchos máximos polínicos coinciden con periodos nos que s'algamaron temperatures máximes o mínimes n'Asturias, con posibles consecuencies sobre prevalencia d'enfermedaes respiratorias.
- Nun se tienen estudios sobre vectores d'enfermedaes nes últimes décadas incluyíos mosquitos.
- Incrementáronse les afecciones pola procesionaria del pinu (d'aniciu mediterraneu) y los daños por coleópteros furadores (escolítidos) anque nesti casu nun seya namái pola mor del cambéu climáticu.
- Prodúxose un aumentu de la duración del periodu d'estrés hídricu pa los llantíos de mazanal en primavera y branu. Les condiciones de seca tamién afeutaron al cultivu del maíz y la faba
- Redúxose la incidencia d'enfermedaes criptogámiques (p.ex. motiáu de la mazanal, antracnosis de la faba) venceyaeas a la mengua de precipitaciones en primavera y branu.
- Deteutosé la merma de los desembarcos nos puertos asturianos de sardina, bocarte, xurel, pulpu, congriu y angula, al empar que medraron los desembarcos de xarda y saramollete.
- Deteutóse una tendencia decreciente nos caudales añales de los ríos asturianos, por más que la so atribución ye complexa.
- Tán usándose teunoloxíes anovadores en proyeutos d'aprovechamientu de biomasa o captura de carbonu.
- Dinamizóse la industria de construcción d'aeroxeneradores, güei entá mal cuantificada.
- Nun se deteutaron cambeos importantes nel turismu, en cualquiera de les sos manifestaciones asociable al cambéu climáticu.
- Magar la so contribución a la producción d'enerxía llétrico, Asturias tien un baxu grau d'autoabastecimientu enerxéticu.
- Los sectores industrial y enerxéticu d'Asturies son dependientes del consumu de carbón, lo qu'inflúi nes sos emisiones.
- Hai teunoloxíes pa estremar gases aplicables a la captura de CO₂, magar que la perda de rendimientu netu na xeneración llétrica con teunoloxíes de captura aplicables a sistemes de combustión fai inviable la so aplicación a les más de centrales existentes.
- Nun hai datos concretos sobre les capacidaes d'almacenamientu soterrañu de CO₂ n'Asturies, magar que se declare una Reserva Nacional Estratégica pa esti fin en formaciones permeables fondes.

El cambéu climáticu ye una realidá a nivel global, rexonal y llocal. Dende les observaciones disponibles namái pue deducise que se trata d'un cambéu rápidu y que ta acelerándose. Col llargor de les series de datos climáticos, cada vegada tenemos una visión más clara, magar que se precisen estudios sobre procesos claves

la so productividá veríase afeutada negativamente. Nesi mesmu sen la **producción agrícola** veríase afeutada, pero hai un marxe ampliu pa l'adautación camudando los cultivos y el so remanamientu, lo qu'implicará tamién aspectos comerciales. Nun se tienen proyeiciones sobre la **estraición pesquera** nel futuru, magar que ye posible que se modifique al camudar les condiciones del ecosistema marín. Ye mui posible que se modifiquen les especies estrayíes y con ello, los vezos de los consumidores.

Los efeutos sobre'l turismu sedríen potencialmente positivos, pelo menos nel turismu de sablera. Sicasí, el proyeutáu ascensu del nivel del mar pue afeutar a sableres y arenales con resultaos entá non bien estudiaos. El turismu de ñeve seguramente nun se podrá caltener pola mor d'allugase les estaciones mui baxes y daos los previsibles aumentos de temperatura y disminución de pluviosidá en forma de ñeve.

Pero toes estes proyeiciones van tar condicionaes a los cambios que se produzan n'otres fasteres xeográfiques averaes, ente les que la proyeutada meyora de les condiciones braniegues na costa atlántica europea sedría un exemplu (Gómez *et al.* 2009).

L'actividá de **xeneración d'enerxía llétrico o industrial en xeneral** habrá sufrir cambeos nel futuru. El descensu de la pluviosidá probable-

mente altere les posibilidaes de xeneración hidroeléctrica, magar qu'heba marxe p'adautar la xestión. Hai, pol contrariu, bones perspeutives pa la producción eólica, dao'l proyeutáu incrementu del aire; la mesma situación ye la que se presenta cola enerxía fotovoltaico y lo termosolar. La producción basada en carbón habrá sufrir tresformaciones fondes ya inxertar teunoloxíes de captura y almacenamientu. El desendolcu d'éstes pue xenerar puestos de trabayu tanto nes investigaciones necesaries como na so implantación si resulten favoratibles los estudios previos, magar que siempres supondrá un incrementu de costos (Heras *et al.* 2009).

Los efeutos sobre'l turismu sedríen potencialmente positivos. Sicasí, el proyeutáu ascensu del nivel del mar pue afeutar a sableres y arenales. El turismu de ñeve seguramente nun se podrá caltener daos los previsibles aumentos de temperatura y disminución de pluviosidá en forma de ñeve.

CUADRU 4. Dalgunos impautos venceyaos al cambéu climáticu proyeutaos nel informe *Evidencias y Efectos potenciales del cambio climático en Asturias* CLIMAS, Anadón y Roqueñí (eds.) (2009) relativos a respuestes humanes y de los sos recursos.

- Nun hai proyeiciones sobre l'impautu del cambéu climáticu sobre la salú n'Asturies.
- L'incrementu térmicu proyeutáu aumentará'l periodu d'actividá d'inseutos vectores, y puen adelantar l'entamu d'esta.
- La zona litoral ye la que tien meyores condiciones pa l'apaición y diseminación d'enfermedaes tresmitíes por inseutos vectores.
- Los valles fluviales puen actuar como corredores que favorezan la diseminación de los vectores.
- Prevése un aumentu de les poblaciones de mosquitos, y la potencial apaición del mosquitu tigre, darréu que la zona litoral presenta condiciones climátiques afayadices; esta especie tresmite enfermedes víriques exótiques.
- Dalgunes mosques hematófagues del xéneru *Phlebotomus* podrán colonizar Asturias si sigue l'incrementu térmicu y dalgunes especies tresmiten la Leishmaniosis
- Modelos de distribución futura d'especies forestales prevén una mengua ya incluso desaniciu local de dalgunes si se dan determinaos escenarios: faya, carbayu albar, fresnu, carrascu o xardón, carbayu y rebollu, mientres qu'otros aumentarán: sufrera, ocalitu, pinu resineru y castañal*.
- Predizse una mengua de la producción forestal pol incrementu de la seca braniega; el resalvéu pue usase como estratexa adautativa énte l'aumentu de la tasa de trespiración.
- L'aumentu de la seca provocará'l debilitamientu d'especies forestales, lo que facilitará l'incrementu d'inseutos furadores de coníferes y la baxa calidá sanitaria de les masas afeutaes (tinta o chancru).
- L'incrementu de superficie forestal o l'avieyamientu de les actuales pue suponer un aumentu de la so capacidá como sumidoriu de carbonu, qu'en tou casu sedrá temporal.
- Los modelos de potencialidá agrícola proyeuten descensos de productividá menores que los proyeutaos con modelos climáticos.
- La fertilización orgánica pue ser una respuesta adautativa y de mitigación al favorecer la retención de humedanza y el carbonu orgánico en suelu.
- L'incrementu de la temperatura en primavera favorecerá l'adelantu de la floración
- Les condiciones climátiques que se proyeuten favorecerán la colonización de cultivos per parte d'especies plaga d'aniciu mediterraneu y la mengua de dalguna actual.
- Prevése un incrementu de la captura d'especies d'agua templao-cálidu, pero nun hai proyeiciones sobre la estraición d'ocla.
- Proyéutase un incrementu significativu de los rebases d'obres públiques na costa oriental d'Asturies que pue llegar al 1,5% añal.

- Pal horizonte de 2027 estímase una mengua de los recursos hídricos superficiales del 2%, pero l'aumentu de la temperatura y la evaporación pue reducir la disponibilidá hídrica nos meses más cálidos.
- L'amenorgamientu de la pluviosidá (agua y ñeve) y el so camudamientu de réxime proyeutaos polos modelos climáticos afeutará a los caudales superficiales y soterraños.
- Aguárdase un axuste productivu a la baxa si se repercuten costos ambientales al ámbitu enerxéticu y otros sectores dependientes de la enerxía.
- L'aprovechamientu de conocimientos teunolóxicos pue xenerar emplegu y renta nel ámbitu de les enerxíes anovables, captura de CO₂ y actividaes forestales.
- Prevése una contribución a la renta asturiana y l'emplegu de nueves actividaes productives remanecíes de l'adautación y mitigación del cambéu climáticu.
- Dende'l puntu de vista climáticu-turísticu Asturias podría salir beneficiada al caltener unas condiciones más favorables qu'otros destinos (Mediterraneu).
- Acordies con modelos d'aptitú turística hai una probabilidá elevada de que les condiciones climátiques pal turismu litoral meyoren n'Asturies.
- L'ascensu del nivel del mar proyeutáu y l'aumentu de la cota de inundación podríen llimitar les ventayes remanecíes de la meyoría de condiciones climátiques.
- Les infraestructures turístiques (paseos, establecimientos, moblame urbano) podríen vere afeutaes pola elevación de la cota d'inundación y pue afeutar a la estensión de sableres, marismes o cantiles que son atractivos turísticos.
- La proyeutada merma de la cobertoria nival y l'aumentu de la temperatura pondrán en riesgu la viabilidá de los actuales complejos ivernales.
- Nun hai proyeiciones sobre'l consumu d'enerxía.
- La producción caltenible d'enerxía n'Asturies requerirá de l'aplicación de teunoloxía d'usu llimpiu del carbón, p.ex. captura y almacenamientu soterraño de CO₂.
- Prevése un aumentu de la xeneración de lletricidá proveniente de fontes autóctones y anovables: solar, biomasa, xeotérmico o marines.
- La mengua proyeutada de nubosidá favorecería l'aprovechamientu fotovoltaicu y térmicu.
- L'arquitectura bioclimática y el fríu solar puen tener un papel destacáu pa llograr eficiencia enerxética y amenorgar les emisiones de CO₂.
- Hai un feixe de teunoloxíes emerxentes de captura de CO₂ que potencialmente permitirá la reducción de costos y prevése que se desendolquen estudios pal almacenamientu masivu de CO₂ n'Asturies.

CONCLUSIONES

El cambéu climáticu ye una realidá a nivel global, rexonal y llocal y, dende les observaciones disponibles, namái se pue deducir que ye un cambéu rápidu que ta acelerándose. Cada vegada se tien una información más detallada sobre los cambeos de clima que se vienen produciendo, darréu que col pasu del tiempu hai más y meyor recoyida de datos y d'estudios que los analicen. Sicasí, na proyeición de los impautos que xenerará n'Asturies queden munches fasteres de les qu'entá falta información consistente pa estimar los efeutos que tán provocando, a pesar de que se produzcan avances. Col pasu del tiempu y del llargor de les series de datos climáticos, cada vegada tenemos una visión más clara, magar que se precisen estudios sobre procesos claves que puen influir n'humanos, n'otros organismos y sobre les actividaes económiques.

Ye de solliñar que se deteuten yá cambeos nos ecosistemas y nes especies presentes o nes nueves que yá s'instalaron y formen parte de la biodiversidá asturiana y del norte de la Península Ibérica. Los modelos que proyeuten la distribución d'especies en rellación a les condi-

ciones climátiques señalen cambeos potenciales fondos. Sedría conveniente tener información actualizada y consistente de munches especies, sobre la so fenoloxía y actividá, pa comprobar l'axuste ente les proyeiciones de los modelos y la realidá, datu que permitiría ameyorar de mou significativu'l nuesu conocimientu sobre la interacción clima-biodiversidá y los mesmos modelos predictivos.

Una situación de cambéu potencial aceleráu preséntase como una oportunidá única pa comprender cómo funcionen munchos procesos naturales y humanos, darréu que les alteraciones que provoquen puen ayudar a esquiñar los complexos mecanismos qu'actúen. Esti conocimientu científicu básicu ayudaría a comprender meyor el funcionamientu d'estos sistemas y daríanos la oportunidá d'ameyorar los nuesos modelos y les predicciones que podamos facer sobre los socesos futuros. Entrambos son preseos necesarios pa empobinar la toma de determinación sobre l'amenorgamientu del cambéu y la nueva adaptación al mesmu.

Bibliografía

ÁLVAREZ GARCÍA, M.A., M. DE CASTRO, R. CRUZ, A. GÓMEZ, V. PÉREZ & H. STÖLL (2009).- «Clima» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 30-64.

ANADÓN, R., C. FERNÁNDEZ, L. GARCÍA-FLÓREZ, I. LOSADA & L. VALDÉS (2009).- «Costa y océanos» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 126-170.

ARAÚJO, M.B., F. GUILHAUMON, D.R. NETO, I. POZO & R. CALMAESTRA (2011).- *Biodiversidade e Alterações Climáticas / Biodiversidad y Alteraciones Climáticas*. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 656 pp.

BODE, A., R. ANADÓN, X.A.G. MORÁN, E. NOGUEIRA, E. TEIRA & M. VARELA (2011).- Decadal variability in chlorophyll and primary production off NW Spain. *Climate Research*, 48: 293–305.

BODE, A., A. LAVÍN & L. VALDÉS (eds.) (2012).- *Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España*. Inst. Español de Oceanografía. 277 pp.

BRAÑA, F., A. BUENO, E. DE LUIS CALABUIG, T. DÍAZ, J.R. OBESO, A. TABOADA & M.L. VERA (2009).- «Biodiversidad» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 68-83.

CÁMARA, A. & J. MAJADA (2009).- «Recursos Forestales» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 84-109.

CHRISTENSEN, J.H., T.R. CARTER, M. RUMMUKAINEN & G. AMANATIDIS (2007).- Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. *Climate Change*, 81: 1-6.

DAPENA, E., A. FERNÁNDEZ-CEBALLOS, M. MIÑARRO & A. MARTÍNEZ (2009).- «Agricultura» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 112-123.

FELICÍSIMO, Á. M. (coord.) (2011).- *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 1. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 552 pág. http://www.academia.edu/470044/Impactos_vulnerabilidad_y_adaptacion_al_cambio_climatico_de_la_biodiversidad_espanola._1._Flora_y_vegetacion

FERNÁNDEZ, C. (2011).- The retreat of large brown seaweeds on the north coast of Spain: the case of *Saccorhiza polyschides*. *European Journal Phycology*, 46: 352-360.

- GÓMEZ, B., A. MORENO & L. VALDÉS (2009).- « Turismo » en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 264-285.
- GONZÁLEZ-POLA, C., A. LAVÍN & M. VARGAS-YÁÑEZ (2013).- Intense warming and salinity modification of intermediate water masses in the southern corner of the Bay of Biscay for the period 1992-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-14.
- GONZÁLEZ-TABOADA, F. & R. ANADÓN (2011).- *Análisis de escenarios de Cambio Climático en Asturias*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principado de Asturias. 128 pp. <http://idebos.bio.uniovi.es/GeoPortal/Atlas/>
- GONZÁLEZ-TABOADA, F. & R. ANADÓN (2012).- Patterns of change in sea surface temperature in the North Atlantic during the last three decades: beyond mean trends. *Climatic Change*, 115(2): 419-431.
- GONZÁLEZ-TABOADA, F. & R. ANADÓN (2013).- Seasonality of North Atlantic phytoplankton from space: Impact of environmental forcing on a changing phenology. *Global Change Biology* (en prensa). doi:10.1111/gcb.12352.
- GUIJARRO, J. A. (2011).- climatol: Some Tools for Climatology: series homogenization, plus windrose and Walter&Lieth diagrams. R package version 2.1. CRAN.R-project.org/package=climatol.
- HANSEN, J., R. RUEDEY, M. SATO & K. LO (2010).- Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, 48, RG4004.
- HERAS, M.R., E. LOREDO, P. ORVIZ, F. RUBIERA & V. RUIZ (2009).- «Energía» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 288-308.
- LISIECKI, L.E. & M.E. RAYMO (2005).- A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*, 20, PA1003.
- LAMELA, C., C. FERNÁNDEZ, J. ARRONTES & R. ANADÓN (2012).- Fucoids Assemblages on the North Coast of Spain: Past and Present (1977-2007). *Botanica Marina*, 55: 199-207.
- VAN DER LINDEN, P. & J.F.B. MITCHELL (2009).- *Ensembles: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ensembles project*. SciencIVc report, Met OXce Hadley Centre. FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
- LUCIENTES, J. (2009): Enfermedades transmitidas por mosquitos en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 228-236.
- MANN, M.E., Z. ZHANG, M.K. HUGHES, R.S. BRADLEY, S.K. MILLER, S. RUTHERFORD & F. NI (2008).- Proxy-based reconstructions of hemispheric and global surface temperature variations over the past two millennia. *Proc.Nat.Acad.Sci.*, 105: 13252-13257.
- MARCOTT, S.A., J.D. SHAKUN, P.U. CLARK & A.C. MIX (2013).- A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*, 339: 1198-1201.
- MARGOLLES, M.J., M.D. QUIÑONES & M.L. REDONDO (2009).- «Salud» en: ANADÓN, R. & N. ROQUEÑÍ (coord.) *Evidencias y Efectos potenciales del Cambio Climático en Asturias (CLIMAS)*. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras, Principáu d'Asturies. 194-225.

- McGUFFIE, K. & A. HENDERSON-SELLERS (2005).- *A climate modelling. Primer*. John Wiley & Sons. 280 pp.
- MARTÍNEZ, I. & F. GONZÁLEZ-TABOADA (2009).- Seed dispersal patterns during a mast event: performance of alternative dispersal kernels. *Oecologia*, 159 (2): 389-400.
- MEINSHAUSEN, M., S.J. SMITH, K. CALVIN, J.S. DANIEL, M.L.T. KAINUMA, J.F. LAMARQUE, K. MATSUMOTO, S.A. MONTZKA, S.C.B. RAPER, K. RIAHI, A. THOMSON, G.J.M. VELDEERS & D.P.P. VUUREN (2011).- The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109: 213-241
- MOSS, R.H., J.A. EDMONDS, K.A. HIBBARD, M.R. MANNING, S.K. ROSE, D.P. VAN VUUREN, T.R. CARTER, S. EMORI, M. KAINUMA, T. KRAM, G.A. MEEHL, J.F.B. MITCHELL, N. NAKICENOVIC, K. RIAHI, S.J. SMITH, R.J. STOUFFER, A.M. THOMSON, J.P. WEYANT & T.J. WILBANKS (2010).- The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463: 747-756.
- NAKICENOVIC, N., G.D.J. ALCAMO, B. DE VRIES, J. FENHANN, S. GAXN, K. GREGORY, A. GRÜBLER, T.Y. JUNG, T. KRAM, E.L.L. ROVERE, L. MICHAELIS, S. MORI, T. MORITA, W. PEPPER, H. PITCHER, L. PRICE, K. RIAHI, A. ROEHL, H.-H. ROGNER, A. SANKOVSKI, M. SCHLESINGER, P. SHUKLA, S. SMITH, R. SWART, S. VAN ROOIJEN, N. VICTOR & Z. DADI (2000).- *Special Report on Emissions Scenarios, Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge. 570 pp.
- NAVES, J., A. FERNÁNDEZ-GIL, C. RODRÍGUEZ & M. DELIBES (2006).- Brown bear food habits at the border of its range: a long-term study. *Journal Mammalogy*, 87 (5): 899-908.
- PARRY, M.L., O.F. CANZIANI, J.P. PALUTIKOF, P.J. VAN DER LINDEN & C.E. HANSON (eds) (2007).- *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge. 986 pp.
- PLOQUIN, E. (2013).- *Desplazamientos altitudinales y características ecológicas de los abejorros (Bombus spp.) de la Cordillera Cantábrica*. Tesis Doctoral, Universidad d'Uviéu.
- POLOVINA, J.J., J.P. DUNNE, P.A. WOODWORTH & E.A. HOWELL (2011).- Projected expansion of the subtropical biome and contraction of the temperate and equatorial upwelling biomes in the North Pacific under global warming. *ICES Journal of Marine Science*, 68(6): 986-995.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2012).- *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. www.R-project.org/
- REYNOLDS, R. W., T.M. SMITH, C. LIU, D.B. CHELTON, K. CASEY & M.G. SCHLAX (2007).- Daily highresolution-blended analyses for sea surface temperature. *Journal of Climate*, 20:5473–5496.
- RUMMUKAINEN, M., S. BERGSTRÖM, G. PERSSON, J. RODHE & M. TJERNSTRÖM (2004).- The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A review. *Ambio*, 33: 176-182.
- SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR, H.L. MILLER (eds.) (2007).- *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge. 996 pp.