

Primeiro informe sectorial

Análise de impactos
Modelización climática



Galicia

**cambio
climático**

XUNTA DE GALICIA

1.- Modelización climática

1.1.- Introducción á modelización _4

1.2.- Os modelos climáticos_5

1.2.1.- Escenarios de emisións_8

1.2.2.- A rexionalización_12

1.2.2.1.- Incertezas_13

1.2.3.- Modelos desenvolvidos máis relevantes_14

PRUDENCE_15

ENSEMBLES_18

1.3.- Os modelos de nicho ecolóxico_25

1.3.1.- O concepto de nicho ecolóxico_25

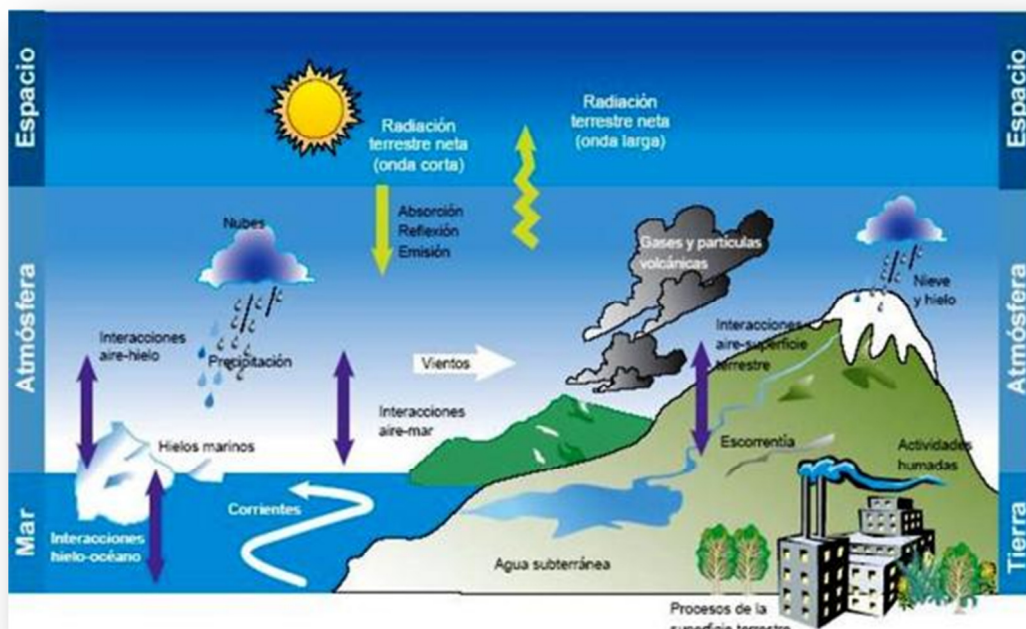
1.3.2.- Os distintos modelos de nicho ecolóxico_26

1.3.3.- O procedemento de análise_27

1.1.- Introducción á modelización

Ao abordar o tema do clima e da súa evolución, resulta fundamental diferenciar entre *tempo meteorolóxico* e *clima*. Mentres o primeiro pode definirse como o estado das variables atmosféricas nun certo lugar nun momento determinado, o clima, supón unha información enfocada a un período temporal mais longo de 30-40 anos mínimo. As ciencias que estudan isto son a meteoroloxía para o tempo e a climatoloxía para o clima. Polo tanto, podería afirmarse entón que a meteoroloxía refírese ao tempo que fai e a climatoloxía ao tempo fixo ao longo do tempo pasado.

Así, o clima defínese habitualmente como o tempo medio dentro do período temporal escollido. Por outra banda, o concepto de *sistema climático* foi obxecto de varias definicións no transcurso dos anos. En 1975, o Programa Global de Investigación da Atmosfera (Global Atmospheric Research Programme ou GARP) da Organización Meteorolóxica Mundial estableceu que o sistema climático estaba formado pola atmosfera, hidrosfera, criosfera, a superficie do solo e a biosfera. Posteriormente, o Convenio Marco das Nacións Unidas sobre Cambio Climático, definía o sistema climático dun xeito análogo como a totalidade da atmosfera, a hidrosfera, biosfera e xeosfera e as súas interaccións. É especialmente importante o feito de mencionar tales interaccións pois probablemente indica o avance no coñecemento rexistrado no período temporal que separa ambas definicións.



Fonte: Organización Meteorolóxica Mundial

Figura 1: O sistema climático.

De cara a poder predicir a evolución do clima, resulta importante a determinación dos factores que inflúen sobre o sistema climático e como actúan sobre el. Para poder traballar co sistema climático, este debe ser modelizado. A modelización é a descrición do sistema mediante ecuacións, se ben, a cantidade de termos e parámetros que definirían todas as interaccións é enorme polo que, para acadar un uso mais sinxelo e rápido, o sistema debe ser simplificado. A sinxeleza do modelo será a que determine os límites do propio modelo e os erros que con el se podan cometer.

1.2.- Os modelos climáticos

As ferramentas que se empregan para proxectar o futuro climático son os modelos numéricos. O interese en dispor de proxeccións relativas ao clima do futuro segundo a composición atmosférica variable que propoñen os distintos escenarios socioeconómicos do futuro (*Special Report on Emission Scenarios* (SRES), GIECC, 2000) propiciou o desenvolvemento dos modelos numéricos.

Un modelo é un conxunto de ecuacións matemáticas que pretenden representar o sistema climático globalmente ou algunha das súas características, a partir dunhas condicións iniciais dadas para obter representacións mediante parámetros dalgúns procesos que ocorren en dito sistema climático. Polo tanto, un modelo pretende ser unha representación simplificada do comportamento da natureza. Toda representación presenta aproximacións e prioridades que a caracterizan e determinan os seus límites de confianza e exactitude. Os erros dos modelos proceden, por unha parte, das simplificacións na súa elaboración ou na transcripción en forma numérica e, por outra, da definición das condicións iniciais.

As leis físicas que gobernan a dinámica da atmosfera e do clima compoñen ese conxunto completo de ecuacións matemáticas non lineais para as que non se dispoñen de métodos analíticos para ser resoltas e que, polo tanto, deben tratar de resolverse numericamente. Porén, os modelos non poden incluír a totalidade das complexidades de todos os fenómenos que interveñen no sistema climático. Por iso, empréganse as parametrizacións, é dicir, algoritmos específicos que describen un proceso determinado a partir de variables fundamentais e que son implementadas dentro do sistema de ecuacións do modelo.

Os modelos dividen o sistema por describir (a atmosfera e o océano) nunha malla con celas dunhas dimensións determinadas. Resolven as ecuacións que gobernan o sistema para cada cela, tendo en conta a interacción de cada unha coas súas veciñas. Unha vez feito ese cálculo para cada cela, a partir dunhas condicións iniciais, obtense a variación do sistema climático segundo o modelo nunha iteración temporal e, por conseguinte, dispónse duns valores das

variables fundamentais do modelo para cada cela. O seguinte paso consiste en converter os resultados anteriores en novas condicións iniciais para unha nova iteración, que á súa vez, dará novos valores para as variables de cada cela. Os modelos meteorolóxicos estándar aliméntanse periodicamente con condicións iniciais medidas mediante a rede de observatorios meteorolóxicos e satélites, cousa que, non é posible facer cos modelos climáticos.

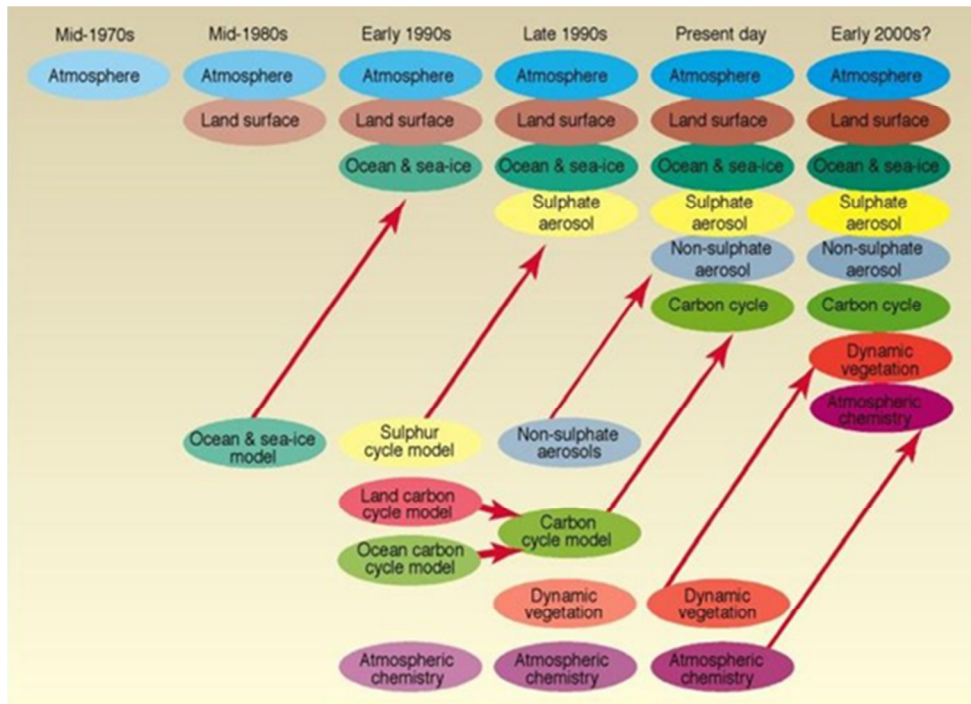
Canto mais pequena sexa a cela, mais preciso será o modelo, pero mais dilatado e complicado será o seu cálculo e mais difícil resultará subministrarlle as condicións iniciais. As ecuacións diferenciais que aparecen nas ecuacións do sistema climático soen tratarse mediante ecuacións equivalentes con diferenzas finitas.

A atmosfera e os océanos están estreitamente acoplados. O esforzo do vento sobre a superficie do océano é o principal impulsor da circulación superficial no mar e a evaporación do vapor de auga cara á atmosfera, mediante a liberación da calor latente cando se condensa, é unha fonte importante de enerxía que caracteriza a circulación atmosférica.

Temos que un modelo fisicomatemático do clima representa o estado estatístico da atmosfera que depende unicamente das condicións de contorno impostas pola biosfera, criosfera e litosfera, xunto co espazo exterior. O modelo climático materialízase sobre a base das ecuacións dinámicas, termodinámicas e hidrodinámicas que representan dunha maneira axeitada estes subsistemas, xunto coas condicións de contorno e iniciais, os valores das constantes físicas e os parámetros que permiten describir os fluxos de materia, enerxía e impulso. As constantes físicas inclúen datos planetarios, como o radio da Terra, a aceleración da gravidade e a velocidade angular de rotación; constantes internas, como a masa total, a composición química do aire e dos océanos; calores específicos, calores latentes de cambio de fase, e albedos das nubes e da superficie terrestre. As condicións iniciais inclúen a enerxía solar, os parámetros orbitais, a topografía da superficie, as propiedades da superficie do solo, etc. Todo isto é un conxunto moi amplo de variables a ter en conta no funcionamento do modelo climático, de aí a súa complexidade.

Fálase de sistema porque a atmosfera e os océanos están estreitamente acoplados e o que ocorre nun afecta ao outro. Por exemplo, o esforzo do vento sobre a superficie do océano é o principal impulsor da circulación superficial no mar e a evaporación do vapor de auga cara á atmosfera, mediante a liberación da calor latente cando se condensa, é unha fonte importante de enerxía que caracteriza a circulación atmosférica. Aínda así, tómase a atmosfera como sistema principal e os océanos como segundo subsistema a ter en conta e cuxas interrelacións son tidas en conta para obter unha boa modelización. A contribución dos demais subsistemas acostuma a integrarse mediante parámetros.

Todo isto da modelización non apareceu da noite para mañá. Foron moitos anos de traballo por parte da comunidade científica ata lograr o que os modelos climáticos sexan o que son hoxe en día, introducindo pouco a pouco novas parametrizacións que, xunto as melloras computacionais, fixeron que tanto resolución coma tempo de cálculo foran mellorando ao longo destes anos.



Fonte: IPCC

Figura 2: Evolución dos modelos climáticos.

Existen distintas clasificacións para os modelos climáticos, segundo o tipo de modelo ou o grao de resolución, pódense clasificar en:

- Modelos de balance enerxético (EBM, polas siglas en inglés). Trátase dos modelos máis simples, dado que non distinguen entre os diversos compoñentes dun sistema climático. Permiten determinar a temperatura efectiva do planeta, asumindo a existencia dun balance de enerxía entre a radiación solar absorbida e a radiación terrestre emitida ao espazo. Os parámetros importantes que empregan son a radiación do Sol, o albedo dos efectos das nubes, os aerosois, a superficie de xeo, a radiación infravermella absorbida pola atmosfera e a distribución da temperatura media na dirección norte-sur.
- Modelos radiativos-conectivos. Son tamén modelos unidimensionais que determinan a distribución vertical da media global da temperatura da atmosfera e da superficie terrestre. Responden a unha composición atmosférica e un albedo superficial predeterminados, incluíndo módulos que describen a transferencia radiativa de

radiación solar e terrestre, os intercambios de radiación entre a superficie terrestre e a atmosfera, e a distribución vertical das nubes coas súas propiedades radiantes.

- Modelos zonais. Trátase de modelos bidimensionais capaces de simular variacións verticais e meridionais e propiedades da superficie e da atmosfera sobre as que se avaliou a media zonal, é dicir, sobre as que se calculou a media para todas as lonxitudes ao longo do paralelo correspondente a unha latitude determinada. A vantaxe que presentan estes modelos con respecto dos radiativos-conectivos e os de balance enerxético é que poden responder a variacións latitudinais da corteza de xeo prescritas ou modeladas, ás propiedades do solo e da superficie do océano, e á distribución das nubes.
- Modelos climáticos globais (GCM). Son modelos tridimensionais, é dicir, as variables do modelo dependen das dúas coordenadas horizontais, a latitude e a lonxitude, e da altura. Simulan o clima empregando técnicas numéricas para a predición meteorolóxica do tempo, pero mais complexas cando se trata de modelos acoplados atmosfera-océano (AOGCM). Polo tanto, intentan reproducir explicitamente a circulación na atmosfera e no océano que contribúe ao transporte horizontal e vertical da calor, do vapor de auga e doutras propiedades. A resolución da rede destes modelos baséase en celas de entre 3º e 1º de latitude e de lonxitude, que corresponden a unha franxa horizontal aproximada de entre 100 e 300 km e unha resolución vertical de entre 200 e 400 m. Os modelos GCM inicianse a partir dunha estrutura atmosférica dada e simulan a evolución da circulación xeral na atmosfera durante décadas ou incluso séculos, superando o intervalo máximo de predición de calquera modelo de predición do tempo. Os obxectivos destes modelos son representar as propiedades estatísticas da atmosfera e simular os escenarios de cambio climático.

1.2.1.- Escenarios de emisións

O Grupo Intergubernamental de Expertos sobre o Cambio Climático (IPCC) creouse xunto coa Organización Meteorolóxica Mundial (OMM) e o Programa de Nacións Unidas para o Medio Ambiente (PNUMA), coa finalidade de avaliar a información científica, técnica e socioeconómica pertinente para a comprensión do risco do cambio climático inducido polos seres humanos. Desde a súa creación, elaborou unha serie de Informes de Avaliación sobre o estado do coñecemento sobre as causas do cambio climático, seus efectos potenciais e as opcións en termos de estratexias de resposta. Preparou tamén, Informes Especiais, Documentos Técnicos, metodoloxías e directrices.

No ano 1992, o IPCC publicou no seu Informe Especial sobre Escenarios de emisións (SRES, polas súas siglas en inglés) uns escenarios que servían de base para os modelos de circulación

mundial co fin de desenvolver uns escenarios sobre o cambio climático. Os denominados escenarios IS92 supuxeron un grande avance xa que eran os primeiros escenarios mundiais que proporcionaban estimacións de todos os gases de efecto invernadoiro.

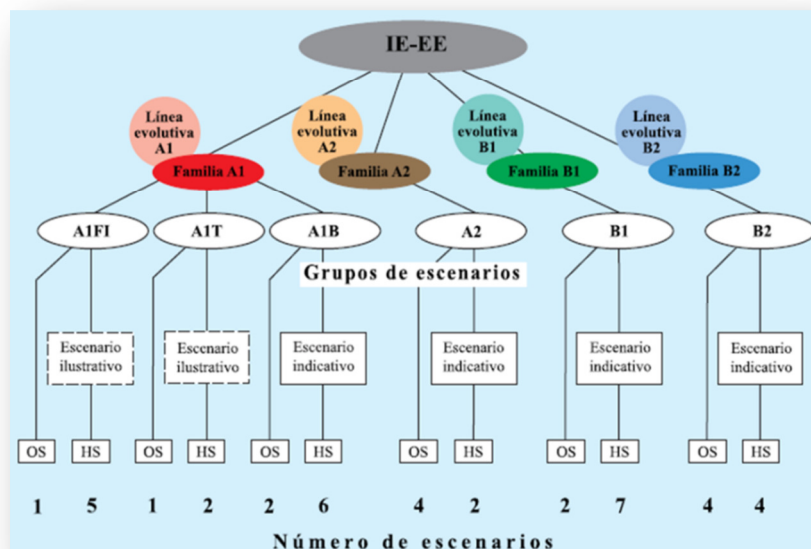
O IPCC ademais, proporciona, previa solicitude, asesoramento científico e técnico á Conferencia das Partes na Convención Marco sobre o Cambio Climático (CMCC) e os seus órganos. En resposta a unha avaliación dos anteriores escenarios de emisións IS92 realizada en 1994, a reunión plenaria de 1996 do IPCC solicitou o informe especial sobre escenarios de emisións (IE-EE). A grande escala temporal e a incerteza que supoñen o cambio climático e as súas forzas determinantes facían necesarios uns escenarios que abranguesen ata o fin do século XXI.

Os escenarios do IE-EE

As emisións futuras de gases de efecto invernadoiro (GEI) son produto de moi complexos sistemas dinámicos, determinado por forzas como o crecemento demográfico, o desenvolvemento socioeconómico ou o cambio tecnolóxico. A súa evolución futura é moi incerta. Os escenarios son imaxes alternativas do que podería acontecer no futuro, e constitúen un instrumento axeitado para analizar de que maneira influirán as forzas determinantes nas emisións futuras, e para avaliar a marxe de incerteza de dita análise. Os escenarios son de utilidade para a avaliación dos impactos e para as iniciativas de adaptación e mitigación.

Así, para describir de xeito coherente as relacións entre as forzas determinantes das emisións e a súa evolución, e para engadir un contexto á cuantificación dos escenarios, desenvolvéronse catro liñas evolutivas diferentes. Cada unha delas representa un cambio (ou tendencia) demográfico, social, económico, tecnolóxico e medioambiental.

Os escenarios abranguen un gran número das principais forzas determinantes demográficas, económicas e tecnolóxicas das emisións de GEI e de dióxido de xofre. Cada escenario representa unha interpretación cuantitativa específica dunha das catro liñas evolutivas. O conxunto de escenarios baseados nunha mesma liña evolutiva constitúe unha “familia” de escenarios.



Fonte: Informe Especial do IPCC. Escenarios de emisións

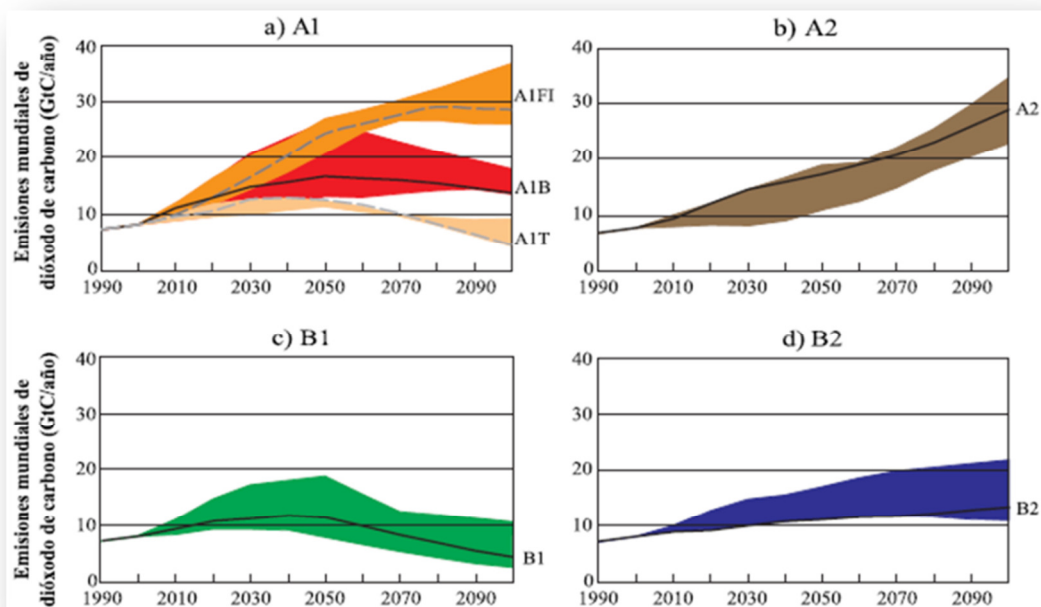
Figura 3: Principais características das catro liñas evolutivas e familias de escenarios.

Así, as catro liñas evolutivas cualitativas proporcionan catro conxuntos de escenarios denominados familias: A1, A2, B1 e B2. En total, seis equipos de modelizadores desenvolveron 40 escenarios IE-EE. Todos eles son igualmente válidos e non teñen asignadas probabilidades de facerse realidade.

- A liña evolutiva e familia de escenarios A1 describe un mundo futuro cun rápido crecemento económico, unha poboación mundial que acada seu valor máximo cara mediados de século e diminúe posteriormente, e unha rápida introdución de tecnoloxías novas e mais eficientes. As súas características distintivas mais importantes son a converxencia entre rexións, a creación de capacidade e o aumento das interaccións culturais e sociais, acompañadas dunha notable redución das diferenzas rexionais en canto a ingresos por habitante. A familia de escenarios A1 desenvólvese en tres grupos que describen direccións alternativas do cambio tecnolóxico no sistema de enerxía. Así, os tres grupos A1 diferéncianse na súa orientación tecnolóxica: emprego intensivo de combustibles de orixe fósil (A1FI), utilización de fontes de enerxía non de orixe fósil (A1T) ou emprego equilibrado de todo tipo de fontes (A1B).
- A familia das liñas evolutivas e escenarios A2 describe un mundo moi heteroxéneo. As súas características mais distintivas son a autosuficiencia e a conservación das identidades locais. As pautas de fertilidade no conxunto das rexións converxen moi lentamente, co que se obtén unha poboación mundial en continuo crecemento. O desenvolvemento económico está orientado basicamente ás rexións, e o crecemento

económico por habitante, así como, o cambio tecnolóxico están mais fragmentados e son mais lentos que noutras liñas evolutivas.

- A familia de liñas evolutivas e escenarios B1 describe un mundo converxente cunha mesma poboación mundial que acada un máximo cara mediados de século e descende posteriormente, como na liña evolutiva A1, pero con rápidos cambios das estruturas económicas orientados a unha economía de servizos e de información, acompañados dunha utilización menos intensiva dos materiais e da introdución de tecnoloxías limpas cun aproveitamento eficaz dos recursos. Nela, dáse preponderancia ás solucións de orde mundial encamiñadas á sostibilidade económica, social e medioambiental, así como, a unha maior igualdade, pero en ausencia de iniciativas adicionais en relación co clima.
- A familia de liñas evolutivas e escenarios B2 describe un mundo no que predominan as solucións locais á sostibilidade económica, social e medioambiental. É un mundo cuxa poboación aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, cuns niveis de desenvolvemento económico intermedios, e cun cambio tecnolóxico menos rápido e mais diverso que nas liñas evolutivas B1 e A1. Aínda que este escenario está tamén orientado á protección do medio ambiente e á igualdade social, céntrase principalmente nos niveis local e rexional.



Fonte: Informe Especial do IPCC. Escenarios de emisións

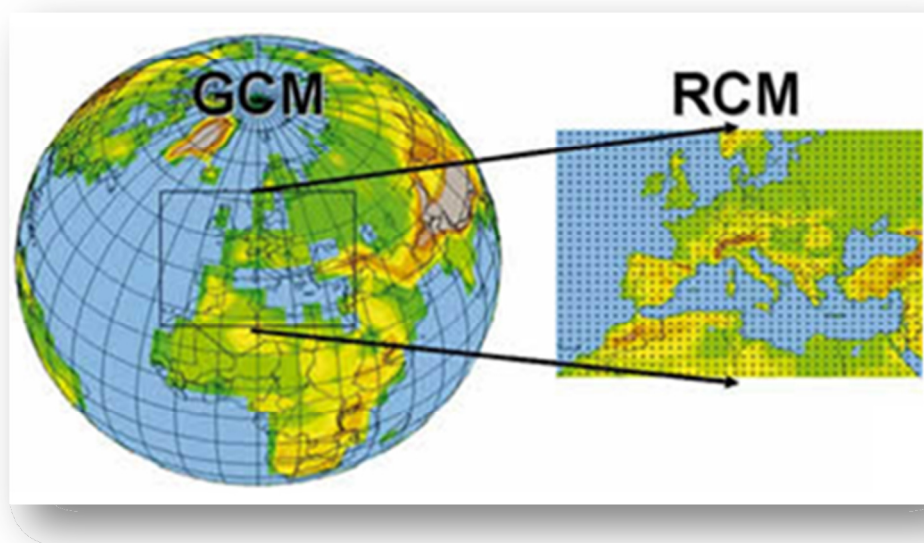
Gráfica 1: Emisións anuais totais de CO₂ procedentes de todas as fontes (enerxía, industria e cambio do uso das terras) entre 1990 e 2100 en GtC/ano para as familias e os seus grupos de escenarios.

1.2.2.- A rexionalización

Si se desexa obter unha análise máis precisa, rexional ou local, a resolución dos modelos climáticos empregados para simular o clima futuro a partir dos distintos escenarios é baixa, ademais, o detalle xeográfico que poden acadar actualmente as previsións aínda é moi limitado, o que non permite predicir diferenzas nin tendencias rexionais.

Así, os modelos globais son aplicados para a predición climática global cunha resolución de centos de quilómetros e o seu uso a nivel local non é recomendable. Para que sexan factibles deberíanse simplificar moitos factores, como por exemplo, os relacionados co relevo, véndose así reducidos os efectos deste na meteoroloxía da zona. Isto levaría á necesidade de introducir un axuste con simplificacións facendo necesario o uso de computadoras mais potentes e, na medida en que a realización dos cálculos con estes modelos xa resulta moi complexa e longa, o feito de introducir maiores axustes fai inviable o procedemento.

A solución que se deu a este problema foi o emprego do método de rexionalización, redución de escala ou downscaling en inglés.



Fonte: Organización Meteorolóxica Mundia

Figura 4: Resolución espacial dos modelos globais e dos rexionais.

A rexionalización consiste en utilizar os datos obtidos con algún modelo acoplado atmosfera-océano (AOGCM) e adaptalos a uns contornos orográficos, fisográficos, etc, que respondan a unha maior resolución da zona de estudo. Esa labor de proxección rexional efectúase empregando técnicas dinámicas, adaptando modelos numéricos locais de mais resolucións ou despregando técnicas estatísticas con modelos empíricos que relacionan as variables de grande escala con variables locais (Benestad, 2001, 2004).

As **técnicas de rexionalización dinámica** (RCM, en inglés) baséanse no uso de modelos rexionais ou de área limitada. Co obxecto de acadar un aumento da resolución dos modelos climáticos globais aníñase un modelo rexional de maior resolución no seno do modelo global, unicamente na zona de interese. O modelo rexional acostuma a ser un modelo de pronóstico meteorolóxico de mesoescala para unha rexión determinada que utiliza unha cela de dimensións moi reducidas. Este modelo toma como condicións de contorno os valores do modelo global ao longo de toda a integración. Estas técnicas dinámicas presentan a vantaxe de ser coherentes fisicamente e a desvantaxe de necesitar gran capacidade de cálculo, polo que hoxe en día están limitadas a simulacións non superiores a 20 km.

Os **métodos estatísticos de rexionalización** baséanse no uso de técnicas estatísticas que relacionan de xeito empírico as variables climáticas a grande escala (preditores), proporcionadas polos modelos globais de circulación, coas variables locais observadas en superficie (preditandos) relacionadas co fenómeno obxecto de estudo. Isto supón que poda disporse de series históricas dilatadas, tanto procedentes de modelos numéricos (reanálise), como de observacións de estacións meteorolóxicas. A vantaxe das técnicas de *downscaling* estatístico radica en que, ademais de ser aplicables a variables clásicas, como a precipitación e a temperatura, tamén poden aplicarse a calquera outra variable, como a frecuencia das tormentas de levante ou a data de vendima nunha rexión, que dependen da circulación a grande escala, pero que os modelos globais e rexionais non proporcionan.

Hoxe en día, existen numerosas técnicas de rexionalización estatística entre as que se inclúen os modelos de regresión, os esquemas de clasificación de tipos de tempo e de xeradores de tempo, as redes neuronais, os métodos de análogos e de cambio de escala de patróns (Giorgi e outros, 2001; Christensen e outros, 2007). A dispoñibilidade deste amplo abanico de métodos de rexionalización estatística fai que a súa avaliación sexa unha tarefa especialmente complicada, dado que os modelos soen asociarse a aplicacións específicas.

1.2.2.1.- Incertezas

A presenza de distintas fontes de incerteza caracterizan a simulación de escenarios rexionais de cambio climático e afectan a todos os estadios do proceso, desde o establecemento dos escenarios de emisión, ata os modelos globais e a simulación a escala rexional. As incertezas mais destacadas son (Gutiérrez i Pons, 2006):

- A representatividade dos escenarios
- A falla de coñecemento completo do ciclo do carbono
- Os modelos, que aínda mostran unha dispersión excesiva e reflexan a sensibilidade dos modelos do clima a pequenos cambios no forzamento externo do sistema climático
- Os modelos, xa citados, que representan a dinámica doutros subsistemas do sistema climático, como por exemplo, os modelos da evolución do solo

- As distintas técnicas de rexionalización (estadísticas e dinámicas), que engaden incerteza ás proxeccións locais de cambio climático
- Os modelos de impacto que simulan as consecuencias dun determinado cambio nas condicións ambientais sobre unha determinada actividade económica, que tamén presentan unha grande dose de incerteza, xa que empregan visións fenomenolóxicas en moitas ocasións pouco contrastadas e nalgunhas pouco desenvolvidas

En consecuencia, e á vista das incertezas que afectan ao proceso de xeración de escenarios de cambio climático, inténtase empregar metodoloxías que permitan calcular a incerteza asociada cada un dos pasos citados, co obxectivo de atopar un intervalo de confianza para un escenario resultante do cambio climático. A causa da dificultade deste proceso, a avaliación de incertezas asociadas ás proxeccións de cambio climático desenvólvese cunha aproximación probabilística na que se explora un conxunto representativo de métodos, modelos, emisións, etc. Isto conforma o que se coñece como método de predición por conxuntos (*ensemble forecast* en inglés). Dita metodoloxía de predición por conxuntos foi impoñéndose para a predición probabilística a distintas escalas temporais, desde o termo medio ata as proxeccións de cambio climático. O primeiro referente internacional deste tipo de estratexias de aproximación probabilística ao cambio climático o constitúe o proxecto ENSEMBLES, que pretende limitar as incertezas nas predicións de cambio climático mediante integracións de escenarios de emisión diferentes, modelos globais diferentes, modelos rexionais diferentes e técnicas estadísticas de rexionalización diferentes, e que proporciona ademais métodos de tratamento estatístico do peso estatístico de cada resultado.

1.2.3.- Modelos desenvolvidos máis relevantes

No pasado recente, desenvolvéronse algúns proxectos orientados a xerar escenarios a escala rexional, cunha enorme variedade de métodos e modelos climáticos locais e rexionais. A complexidade de todos os aspectos a considerar nas simulacións climáticas e a cantidade de datos a tratar, fixeron que fosen diferentes institucións arredor do mundo as que desenvolvesen cadanseu proxecto de modelaxe do clima, ben en colaboración entre varias delas, ben en solitario.

A nivel europeo estes proxectos involucraron a numerosos grupos de investigación. Ditos modelos foron:

- PRUDENCE¹
- ENSEMBLES²

¹ <http://prudence.dmi.dk/>

² <http://www.ensembles-eu.org>

PRUDENCE

Como se mencionou previamente, entre os proxectos recentes que exploraron a utilidade da rexionalización dinámica sobre Europa destaca o proxecto PRUDENCE. No proxecto PRUDENCE (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects, EU 5th Framework Project) participaron mais de 20 grupos de investigación europeos e entre os seus principais obxectivos está o proporcionar proxeccións rexionalizadas de cambio climático para Europa mediante rexionalización dinámica para finais do século XXI .

O proxecto PRUDENCE creou unha base de datos moi valiosa que incorpora datos de rexionalización de 10 modelos rexionais forzados cun único modelo global (HadAM3), ademais de resultados doutros modelos rexionais forzados con saídas doutros modelos globais (ECHAM4/OPYC, ECHAM5, ARPEGE/OPA) distintos do HadAM3. Estes datos, conxuntamente cos dos modelos globais, permiten proporcionar proxeccións a maior resolución (no entorno dos 50 km) e explorar a incerteza asociada aos diferentes modelos rexionais. A característica común a todos os RCM é que se centraron no escenario A2, que contempla un maior incremento nas concentracións de CO₂ na atmosfera, contemplando algún dos RCM simulacións para o escenario B2.

A base de datos conta con predicións diarias, mensuais e por estación para cada RCM para dous períodos temporais de 30 anos: o 1961-1990 de referencia e o 2071-2100 de análise.

Os modelos, tanto globais coma rexionais, involucrados no proxecto PRUDENCE son:

- ✓ Un modelo global: HadAM3

É o principal modelo global empregado no PRUDENCE, desenvolto polo Hadley Centre no Reino Unido, que se corresponde coa parte de simulación atmosférica do modelo HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model version 3), que acopla o citado modelo atmosférico mais un modelo oceánico, o HadOM3. Ao traballar co modelo atmosférico a nivel global, as temperaturas da superficie mariña impóñense como condicións de contorno, o que permite gañar velocidade nos cálculos.

Este modelo presenta como particularidade o feito de non precisar de axustes artificiais na calor intercambiada na superficie do océano, que anteriormente levaba a predicións irrealas. Respecto das características da simulación, o HadAM3 resolve as condicións de temperatura, humidade e presión nunha rede de puntos cunha distancia entre eles de aproximadamente 300 km e que permite os cálculos a intervalos de 30 minutos, cunha visión vertical de 19 niveis.

A utilización do modelo débese a unha serie de vantaxes que incorpora respecto dos seus modelos predecesores do Hadley Centre: un novo sistema de radiación, o transporte

convectivo de momento e a mellora da representación da superficie terrestre. Pero existe unha vantaxe fundamental, que é a inclusión dos efectos radiativos dos aerosois e a influencia do CO₂ na evaporación sobre a superficie terrestre.

✓ Varios modelos rexionais

- ~ ARPEGE, desenvolvido polo Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) de Météo-France. Ven a ser tanto un modelo global coma rexional, dado que permite que a rede de puntos distribuídos sobre a Terra non sexa uniforme, funcionando como un modelo global de predición pero podendo chegar, en certos puntos, a aumentar a resolución espacial para unha zona determinada, funcionando así como modelo rexional. No PRUDENCE, a zona realizouse a nivel europeo cunha resolución de 50 km. Coma modelo atmosférico, o ARPEGE trátase dun modelo espectral, isto é, consiste nun modelo que resolve as ecuacións diferenciais propostas para a predición mediante resolucións numéricas, xeralmente por transformadas de Fourier. A dinámica atmosférica está gobernada polas ecuacións de Navier-Stokes e a aceleración da gravidade propónse coma dependente tanto da altitude (para os diferentes niveis na atmosfera) como da latitude. Como punto importante, o modelo gasoso que se introduce consta dunha mestura de aire, vapor de auga e un número opcional de compoñentes dinamicamente pasivos pero de influencia sobre os procesos atmosféricos, como é o caso do ozono.
- ~ HIRHAM, desenvolvido polo Danish Meteorological Institute (DMI), mais concretamente a súa cuarta versión desde o primeiro de 1996, o HIRHAM4, baseado no modelos global ECHAM e o modelos de predición meteorolóxica HIRLAM. Con este modelo fixéronse simulacións dos escenarios A2 e B2 a 50 km de resolución, contando cunha proba a 25 km e incluso 12 km, pero só se consideraron como probas de cara a proxectos futuros.
- ~ CHRМ, desenvolvido pola Escola Técnica Federal de Suíza (ETH). Este modelo fai posible simulacións a nivel europeo de 56 km de resolución e con el, se chegaron a desenvolver certas propostas no centro de Europa a 14 km. O modelo xorde do Modelo de Alta Resolución do Servizo Meteorolóxico Alemán, parcialmente modificado para ser adaptado aos modelos de predición climática. Tamén permite o prognóstico da presión en superficie, a temperatura, o vapor de auga, humidade e as compoñentes do vento horizontal. Conta coa simulación de 20 niveis horizontais da atmosfera coa inclusión da carga de auga na temperatura virtual.
- ~ CLM, desenvolvido polo GKSS Research Centre de Alemaña. Este modelo emprega unha versión climática do modelo LM, chamada CLM cuxas simulacións están realizadas a unha resolución de 50 km coas características do escenario A2, tanto por estacións,

como mensual e diariamente. Outra contribución do GKSS é a aplicación do modelo de tormentas e vagas de mar TRIM, cunha resolución a 20 km, pero só na superficie do Mar do Norte.

- ~ HadRM3, desenvolvido polo Hadley Centre que, aparte do modelo global HadCM3, tamén contribuíu ao proxecto PRUDENCE con este modelo rexional. Este modelo está baseado no HadAM3 e usa seus resultados para as condicións de contorno precisadas. Adapta o funcionamento do modelo global a condicións de 50 e 25 km de resolución, baixo o escenario A2, obtendo un maior detalle espacial e temporal.
- ~ RegCM, desenvolvido polo Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP). Este modelo utiliza o modelo global HadAM3H e realiza simulacións a 50 km de resolución para os escenarios A2 e B2. Presenta a vantaxe de que tamén é susceptible de aplicación no estudo do uso do chan ou para paleoclima.
- ~ RACMO2, desenvolvido polo Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), que ademais aportou ao proxecto a análise dos datos obtidos e a comparación dos diferentes modelos xunto con este modelo rexional aplicado ao escenario A2.
- ~ REMO, desenvolvido polo Max-Planck-Institute for Meteorology (MPI). Este centro empregou dous modelos globais o HadAM e o ECHAM, a pesar de que este último foi desenvolvido polo mesmo MPI, acoplou a este modelo o modelo global HadAM, probablemente para facilitar a comparación de resultados. As simulacións desenvolvidas con este modelo foron para o escenario A2 e con 50 km de resolución.
- ~ RCAO, desenvolvido polo Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI). Este modelo conta con módulos para a atmosfera, superficie terrestre, lagos profundos e pouco profundos, ademais de simulacións para o Mar Báltico. Desenvolveuse para os escenarios A2 e B2 cun nivel de resolución de 50 km e con certos experimentos a 25 km.
- ~ PROMES, desenvolvido pola Universidade Complutense de Madrid (UCM), empregándose unha resolución 50 km para os escenarios A2 e B2. A vantaxe coa que conta este modelo é que dispón de melloras axeitadas para seu uso no entorno da Península Ibérica amosando boa predición (ata agora) nos fenómenos de chuvias torrenciais, e no seu uso na análise da sensibilidade climática na Península da cara a degradación do solo inducida.

Centro	CNRM	DMI	ETH	GKSS	HC	ICTP	KNMI	MPI	SMHI	UCM
Modelo	ARPEGE	HIRHAM4	CHRM	CLM	HadRM3	RegCM	RACMO2	REMO	RCAO	PROMES

Fonte: Elaboración propia

Táboa 1: Relación de centros e modelos rexionais no proxecto PRUDENCE.

ENSEMBLES

Outro dos proxectos foi o ENSEMBLES desenvolvido como parte do sexto Programa Marco da Unión Europea (van der Linden & Mitchell 2009). O principal obxectivo do proxecto Ensembles é proporcionar proxeccións climáticas da mellor calidade posible para seu uso por parte de investigadores, políticos e xestores, o sector empresarial e os cidadáns. Os experimentos de simulación consistiron en executar distintos modelos climáticos rexionais aniñados nos resultados de varios modelos climáticos globais (Táboa 2).

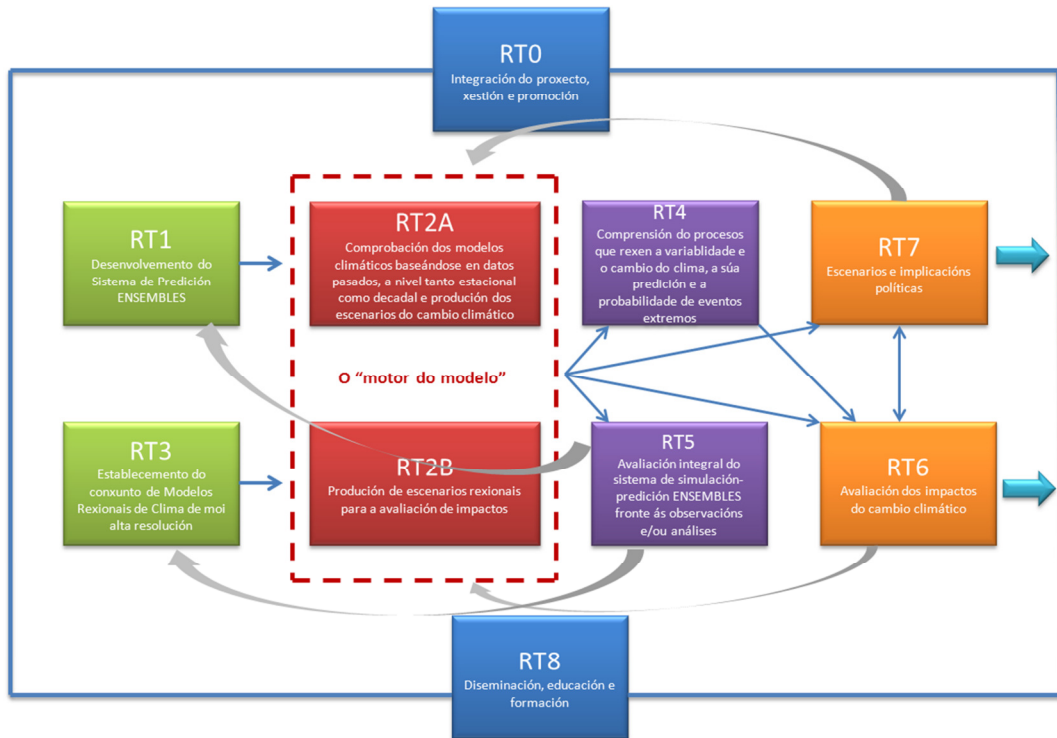
Unha das diferenzas mais importantes dos experimentos ENSEMBLES con respecto ás proxeccións realizadas en PRUDENCE, é o aumento da resolución horizontal dos modelos climáticos rexionais empregados ata os 25 km fronte aos 50 km en PRUDENCE.

O proxecto está liderado pola UK Met Office e o número de institucións colaboradoras ascendeu a 66, a maioría europeas aínda que tamén contou con participantes do resto do mundo, ademais doutras 30 organizacións que figuraron como afiliadas. Isto precisou o establecemento dunha estrutura determinada de carácter máis ríxido que se traduciu na asignación dun papel determinado a cada centro. O proxecto está organizado por temas de investigación (Research Themes) cuxo resumo é o seguinte:

- RT0.- Integración do proxecto, xestión e promoción
- RT1.- Desenvolvemento do Sistema de Predición ENSEMBLES (EPS)
- RT2A.- Comprobación dos modelos climáticos baseándose en datos pasados, a nivel tanto estacional como decadal e produción dos escenarios do cambio climático
- RT3.- Establecemento do conxunto de Modelos Rexionais de Clima de moi alta resolución
- RT2B.- Produción de escenarios rexionais para a avaliación de impactos
- RT4.- Comprensión do procesos que rexen a variabilidade e o cambio do clima, a súa predición e a probabilidade de eventos extremos
- RT5.- Avaliación integral do sistema de simulación-predición ENSEMBLES fronte ás observacións e/ou análises
- RT6.- Avaliación dos impactos do cambio climático

- RT7.- Escenarios e implicacións políticas
- RT8.- Disseminación, educación e formación

Estes Research Themes están interrelacionados entre si, polo que algúns non poden levarse a cabo se non foron desenvolvidos outros anteriormente. A súa descrición é a seguinte:



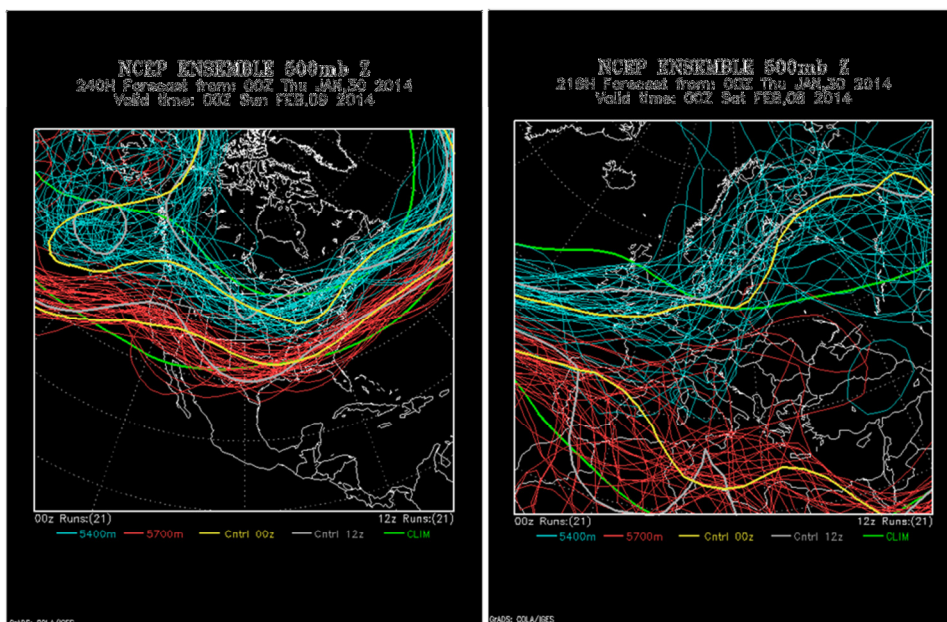
Fonte: ENSEMBLES

Esquema 1: Relacións e vínculos entre os Research Themes no ENSEMBLES.

~ RT1.- O núcleo do proxecto constitúeo o desenvolvemento do primeiro sistema de modelización de alta resolución global coma un conxunto dunha serie de modelos para a predición do cambio climático e os seus impactos. Os modelos combináronse nun único sistema multi-modelo cun resultado común para períodos estacionais, decadais e de cen anos.

Así, o RT1, baséase na elaboración dun modelo global que serva de referente para o resto dos Research Themes. Desenvólvense varios modelos por conxuntos, simulación que consiste en realizar, cun mesmo método, diferentes simulacións con condicións iniciais lixeiramente diferentes. Foron exactamente sete, os centros de modelización que lanzaron os Modelos Climáticos Globais (GCM), tanto para series históricas como para os diferentes escenarios de emisións: B1, A1B e A2 do SRES, así como, un escenario de 1% de CO₂, que supón que o CO₂ na atmosfera aumenta a razón dun 1% ao ano ata estancarse no dobre ou cuádruplo da cantidade existente na actualidade.

Para a construción do modelo global empregado no proxecto ENSEMBLES, realizouse unha ponderación dos modelos desenvolvidos polas diferentes institucións, de xeito que si un modelo aporta unha mellor resposta para fenómenos de carácter puntual (ex: número de días de precipitación extrema), o seu peso no modelo final será maior cando se refira á predición dese tipo de sucesos, sendo menor o peso se a aproximación no resulta tan boa.



Fonte: NOAA Earth System Research Laboratory³

National Oceanic & Atmospheric Administration. U.S Department of Commerce

Figura 5: Exemplos de simulacións por conxuntos en América do Norte e Europa.

- ~ RT2.- O obxecto do RT2A foi producir series de simulacións climáticas con varios modelos e aportar os resultados aos outros Research Themes. Os resultados do RT2A empregáronse para avaliación (RT5), para estudos de avaliación no sistema terrestre (RT4), así como, condicións de contorno e campos de forzamento para as simulacións de modelos rexionais (TR3/RT2B). As simulacións comprenden períodos estacionais, decadais e de séculos.

Desenvolvéronse dúas vías de traballo respecto dos modelos globais (GCM): unha primeira (*stream 1*) para a predición por conxuntos e unha segunda (*stream 2*) que incorpora novas características como a introdución do ciclo de carbono dentro do modelo.

No *stream 1* incluíronse as simulacións correspondentes aos escenarios A2, A1B e B1 do SRES e o escenario que contempla un aumento dun 1% anual de concentración de

³ <http://www.esrl.noaa.gov/>

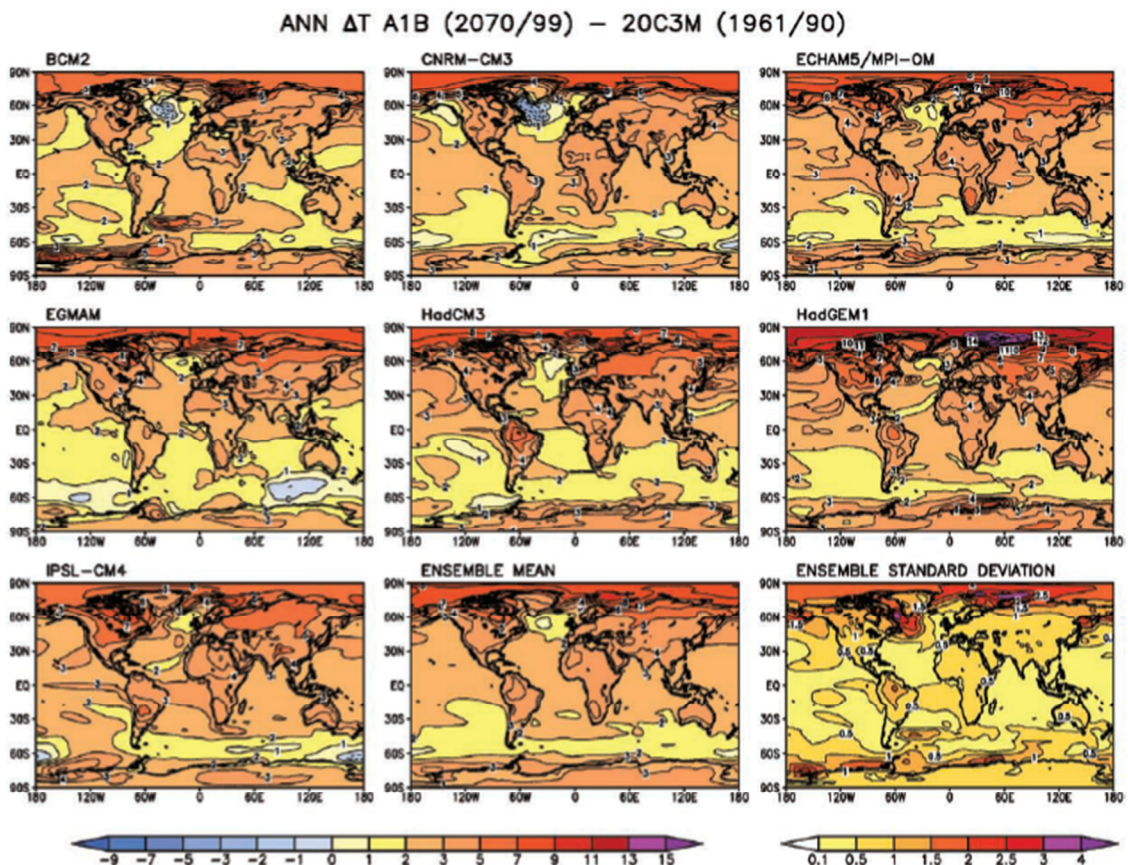
CO₂. Os modelos empregados e os escenarios utilizados en cada caso amósanse a continuación:

Modelos	1860-2000 (20CM3)			Escenarios SRES			1%/ano CO ₂	
	GA	GA+SV	Outros	B1	A1B	A2	2xCO ₂	4xCO ₂
HadGEM1	• 3	• 3	• 2	•	•	•	•	•
IPSL-CM4	•	•	•	•	•	••	•	•
ECHAM5+DMI	•• 3	•• 2	• 3	• 3	•• 3	• 3	•	•
EGMAM	• 3	•	•	• 3	• 3	• 3	•	•
INGV-CMCC	•				•	•	•	•
CNRM-CM3	•	•		•	•	•	•	•
BCM2	•	•		•	•	•	•	•

Fonte: ENSEMBLES

Táboa 2: Simulacións multi-modelo desenvolvidas no stream 1 do ENSEMBLES.

O símbolo • representa que a simulación está dispoñible e o número que o acompaña, o tamaño do conxunto no caso no que se dean varias simulacións similares. As columnas: GA (forzamento histórico de gases de efecto invernadoiro e aerosois), GA+SV (suma o forzamento solar e volcánico), outros (outras combinacións de forzamentos); B1, A1B e A2 (escenarios de emisións segundo o informe especial escenarios 2000-2100 do IPCC); 1% CO₂ (simulacións cun incremento dun 1%/ano das concentracións de CO₂ ata dúas ou catro veces respecto das era pre-industrial).



Fonte: ENSEMBLES

Figura 6: Cambio na temperatura media anual en superficie para o escenario A1B e período 2070-2099 respecto 1961-1990 para os modelos individuais, a media do multi-modelo por conxuntos e a desviación estándar entre os modelos dos cambios proxectados como medida de dispersión do conxunto.

No *stream 2* non só se incluíu un novo escenario de emisións de gases, senón que tamén se incorporaron diferentes aspectos aos modelos de simulación.

As melloras introducidas nos novos modelos son as de incluír o ciclo de carbono dentro do propio modelo, podendo así ter en conta retroalimentacións do ciclo, pois antes utilizábase de maneira externa para aplicar os resultados como condicións de contorno ou como aproximacións ao forzamento radiativo. Outro aspecto introducido no modelo foi o transporte químico de aerosois ou a variación do uso do solo. Tamén, compre destacar no *stream 2* a creación dun novo escenario de emisións: o E1. Este escenario E1 está baseado no A1B do SRES, que contempla un uso equilibrado entre enerxías fósiles e e enerxías alternativas, pero propón que as emisións de CO₂ acadarían un pico máximo sobre o ano 2010, estabilizándose a atmosfera arredor das 450 ppm de CO₂ equivalente no século XXII.

Os modelos empregados no *stream 2* son os mesmos que no 1, pero coas melloras mencionadas introducidas. Se ben, algunhas das modificacións non son tidas en conta por todos os modelos.

Membros do multi-modelo		Compoñentes do modelo			Resolución xenérica		Simulacións				
Grupo	Nome do modelo	CC	AT	LU	Atmosfera	Océano	CTL	1860-2000		2000-2100	
								GA	GA+SV	A1B	E1
METO-HC	HadGEM2-AO HadCM3C	•	• •	•	N96L38 N48L38	1°L40 1.25°L20	• •	•		• 2 •	• 2 •
IPSL	IPSL-CM4 v2 IPSL-CM4-LOOP	•		•	N48L19 N48L19	2°L31 2°L31	• •	• 3	• 3 •	• 3 •	• 3 •
MPI+DMI	ECHAM5-C	•		•	T31L19	3°L40	• •	• 5	• 5	• 5	• 5
FUB	EGMAM+		•	•	T30L39	T42 L20	• •	• 2		•	• 2
INGV	ECHAM5-OPA-C	•			T31L19	2°L31	• •	•		•	•
CNRM+DMI	CNRM-CM3.3			•	T63L31	2° L31	• •	• 3	•	•	• 3
NERSC	BCM2 BCM2-C	•		•	T63L31	2.4°L35	• •	•		•	•

Fonte: ENSEMBLES

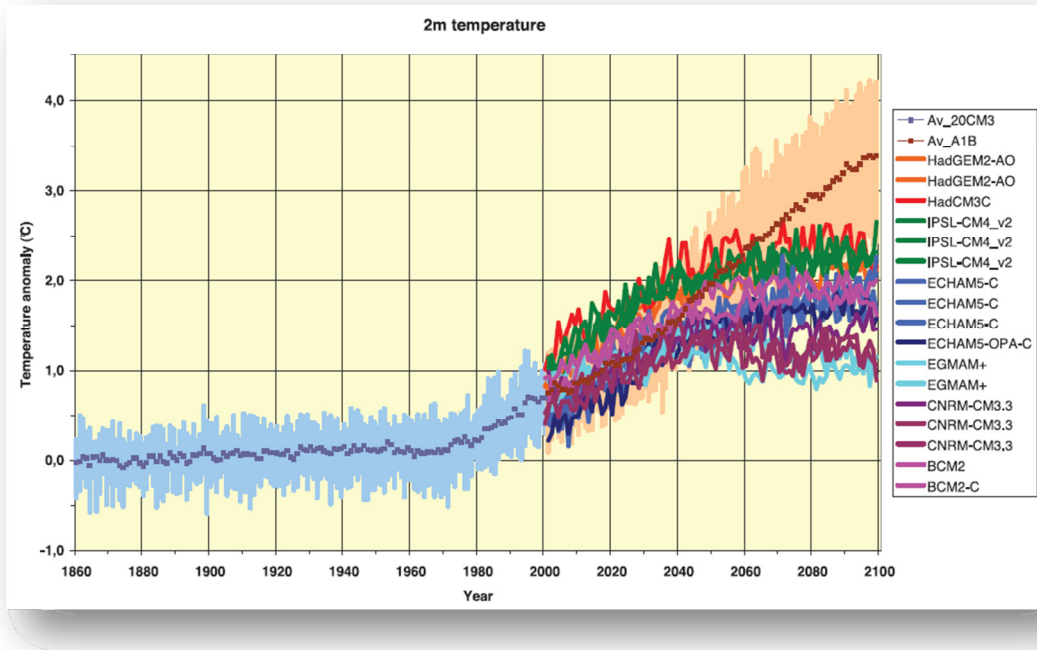
Táboa 3: Resumo do multi-modelo desenvolvido no *stream 2* do ENSEMBLES.

CC- compoñente do ciclo de carbono, AT- compoñente do transporte químico de aerosois, LU- compoñente do cambio do uso do solo.

Simulacións básicas: CTL- forzamento pre-industrial, control ; GA- forzamento histórico por gases de efecto invernadoiro, aerosois e cambios no uso do solo; +SV- a maiores forzamento solar e volcánico; A1B e E1- forzamento futuro de escenarios.

O símbolo • indica que o compoñente do modelo está incluído e a simulación (ou múltiples simulacións indicadas cun número) feita.

A inclusión dun teito nas concentracións de CO₂ implica que o incremento nas temperaturas non vai ser constante, se non que a partir dun ano comezará a estabilizarse. Pode apreciarse a continuación a continuación a tendencia da temperatura media do planeta respecto do período 1861-1890, calculadas por cada modelo co escenario E1 e comparadas coa media das predicións asociadas ao escenario A1B.



Fonte: ENSEMBLES

Gráfica 2: Temperatura global anual en 20C3M, A1 e E1 para as simulacións do *stream 2* (desviación respecto da media 1861-1890).

- ~ RT3.- O RT3 tivo a responsabilidade de subministrar aspectos de mellora nos modelos climáticos que foron desenvolvidos en modelos rexionais para Europa nunha escala de 25 e 50 km. Analogamente ao RT1 e usando condicións de contorno do RT2A, o RT3 xerou un sistema multi-modelo por conxuntos para a predición climática rexional en escalas de tempo multi-decadais para ser aplicado no RT2B. Xunto co RT2A, o RT2B proporcionou o motor do modelo do proxecto ENSEMBLES. Construíu escenarios climáticos rexionais probabilísticos e alta resolución empregando técnicas de downscaling dinámicas e estatísticas de cara a engadir valor ao resultado do RT1 e RT2A e explotar o potencial dos modelos climáticos rexionais (RCM) desenvolvidos no RT3.
- ~ RT4.- O propósito do RT4 foi avanzar na comprensión de temas científicos básicos do proxecto ENSEMBLES. Empregando os resultados do RT2A e RT2B, o traballo centrouse nos procesos clave que gobernan a variabilidade do clima e a predición do clima en escalas temporais estacionais, decadais e maiores. Prestouse atención particular ao estudo de aspectos do sistema climático que podan levar a “sorpresas” climáticas e

eventos extremos. A mellora do coñecemento científico conseguido no RT4 posibilitou o maior desenvolvemento dos modelos empregados no RT2A e RT2B.

- ~ RT5.- O desenvolvemento do sistema de predición por conxuntos e a elaboración dos escenarios climáticos rexionais foron obxecto dunha rigorosa avaliación. O RT5 levou a cabo unha avaliación exhaustiva e independente da actuación do sistema de predición ENSEMBLES desenvolvido no RT1 e RT3 e corrido a través do motor do modelo integrado polos RT2A e RT2B. Isto incluíu a produción de series de datos de alta resolución necesarios para o desenvolvemento de dita tarefa.
- ~ RT6.- O RT6 empregou os resultados do sistema de predición por conxuntos desenvolvido no RT1 e RT3 e executou a través do motor do modelo con RT2A e RT2B para obter avaliacións de impactos. Seu primeiro obxectivo foi simular os impactos potenciais do cambio climático no futuro ao longo do século XXI nos sistemas naturais e actividades humanas baixo escenarios alternativos de clima futuro.
- ~ RT7.- A principal motivación do RT7 foi dar o primeiro paso na integración da dimensión humana nos modelos do sistema terrestre. Isto fíxose mediante a inclusión da resposta do cambio climático resultante do sistema de predición por conxuntos desenvolvido no RT1 e RT3 e executado a través do motor do modelo con RT2A e RT2B, sobre dos escenarios de emisións dos modelos climáticos. O RT7 incluso proporcionou ao RT1 con conxuntos de escenarios de emisións e usos da terra con e sen políticas de mitigación, ademais de escenarios que contemplaban a capacidade de adaptación.
- ~ RT0 e RT8.- Os restantes temas (RT0 e RT8) estiveron relacionados coa xestión e divulgación de proxecto, respectivamente.

1.3.- Os modelos de nicho ecolóxico

Outra maneira de afrontar a análise de impactos de cambio climático é a través da utilización dos denominados modelos de nicho ecolóxico como instrumento para predicir a futura distribución de certas especies vexetais.

1.3.1.- O concepto de nicho ecolóxico

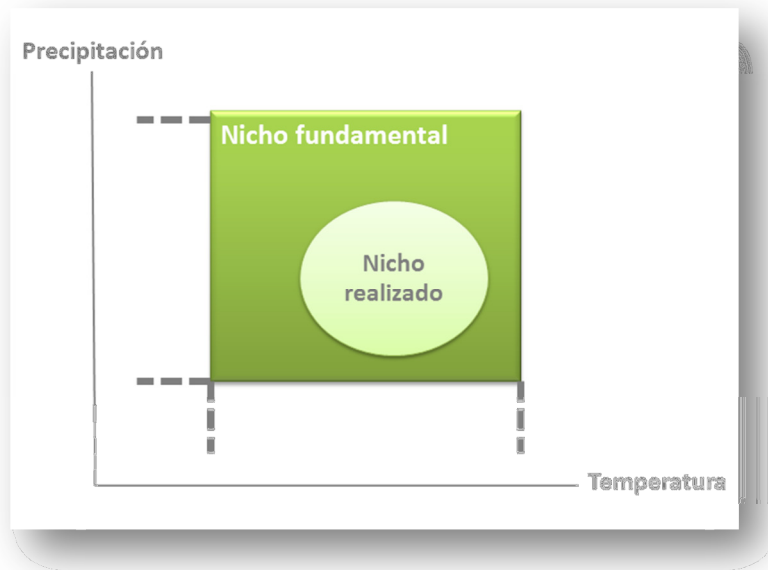
Para entender os modelos de nicho ecolóxico compre desenvolver dous conceptos básicos:

O de *nicho fundamental*, entendido como todos os aspectos (variables físicas ou biolóxicas) do espazo ou hipervolume en ausencia doutras especies. En definitiva, é onde a especie pode vivir.

E o de *nicho realizado/efectivo*, que é un subconxunto de nicho fundamental no que as especies están restrinxidas debido ás súas interaccións interespecíficas. De xeito menos complexo, é o espazo ecolóxico e xeográfico onde a especie vive. É dicir, o nicho realizado (RN) é a parte do nicho fundamental que as especies realmente usarían, despois de ter en conta os efectos de competidores e depredadores.

En definitiva,

- O nicho é unha propiedade da especie e non do medio ambiente
- O nicho evoluciona
- A estrutura do nicho se constitúe polo desempeño dunha especie medido en termos de adecuación



Fonte: Elaboración propia

Esquema 2: Esquemización do concepto nicho fundamental e realizado.

1.3.2.- Os distintos modelos de nicho ecolóxico

Na década dos oitenta, investigadores australianos comezaron coa modelización bioclimática para estudos entomolóxicos (Climex). Despois desenvolveron os modelos Bioclim, Domain e posteriormente, o Garp.

Na actualidade, existen arredor de quince métodos para modelado de nicho, a maioría de libre acceso. A continuación, móstrase unha táboa onde aparecen resumidas as características dos modelos empregados para a análise da vide e do castiñeiro en Galicia (Táboa 3).

Modelo	
Características	Creadores
BIOCLIM	
<p>Bioclim tamén denominado “envoltura bioclimática”, averigua o rango climático/topográfico das zonas de presenza para cada variable e calcula a distribución potencial de dita especie en lugares con rangos climáticos e topográficos similares (percentís dos valores máis probables). Incluído dentro do software gratuito Diva-gis</p>	<p>Busby, J.R. 1991, organización de Investigación Científica e Industrial da Commonwealth (CSIRO). Australia http://www.diva-gis.org/download</p>
DOMAIN	
<p>O modelo Domain calcula o parámetro estatístico “distancia de Gower” para cada celda no mapa. O número resultante é multiplicado por 100. As zonas coas mellores condicións de habitabilidade da especie Terán un número alto (superior a 95). O resultado é un mapa probabilístico. Incluído dentro do software gratuito Diva-gis</p>	<p>Carpenter et al, 1993, Centro de Investigación de bosques tropicais do CSIRO, Australia http://www.diva-gis.org/download</p>
GARP (Algoritmo xenético baseado en regras)	
<p>Garp trata, de forma iterativa, de atopar as correlacións entre os datos de presenza da especie estudada cos parámetros ambientais, utilizando 4 regras diferentes: atómica, regresión logarítmica, envoltura bioclimática e negación da envoltura bioclimática. Incluído dentro do software gratuito Desktop-Garp</p>	<p>David Stockwell, 1992, creado no Departamento de Medio Ambiente do Goberno de Australia, mellorado no Centro de Supercomputación de San Diego (EEUU) http://www.nhm.ku.edu/desktopgarp/Download.html</p>
MAXENT	
<p>Maxent é un programa que modela a distribución xeográfica das especies, empregando como datos só os sitios de presenza desa especie e as variables climáticas e topográficas asociadas a cada un deses puntos de presenza. Para modelar as distribucións bábase no principio de Máxima entropía (é dicir, trata de encontrar a distribución de probabilidade máis estendida, ou mais uniforme, dadas certas restricións que representan a información dispoñible e incompleta sobre o fenómeno ou tema estudado)</p>	<p>Steven Philips, Miro Dudik, Rob Schapire, 2007 laboratorios de investigación de AT&T, a Universidade de Princeton e o Centro para a Biodiversidade e Conservación do Museo Americano de Historia Natural (EEUU) http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/maxent-submit.cgi</p>

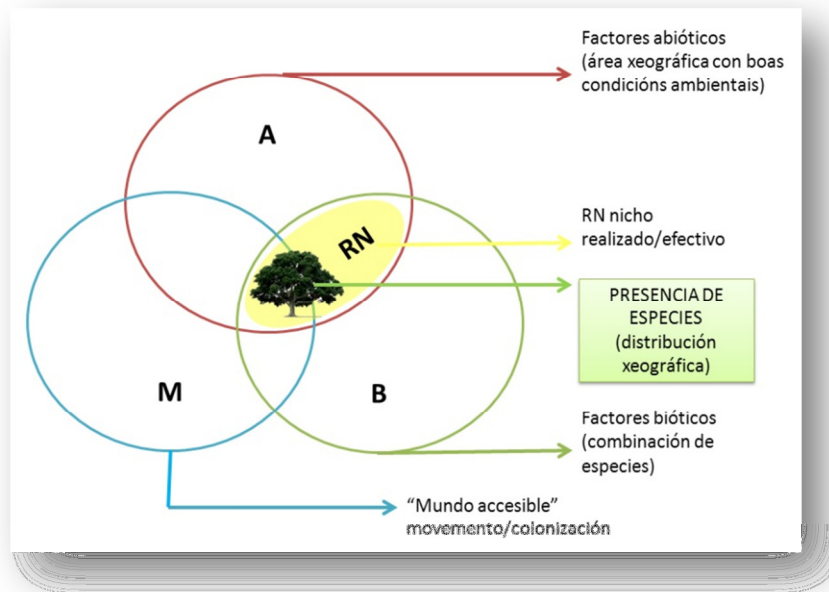
Fonte: Elaboración propia

Táboa 4: Táboa-resumo das características dos diferentes modelos

1.3.3.- O procedemento de análise

O modelado é un instrumento que nos permite analizar os factores ecolóxicos asociados a distintas poboacións de determinada especie e que a influen en distintos graos e maneiras, información que, analizada por distintos tipos de algoritmos, posibilita proxectar a nivel xeográfico a área potencial que ocupa a especie. O obxectivo do modelado do nicho ecolóxico é, polo tanto, identificar os lugares axeitados para a supervivencia das poboacións dunha especie a través da identificación dos seus requirimentos ambientais.

Estes modelos empregáronse con éxito en especies vexetais e animais.



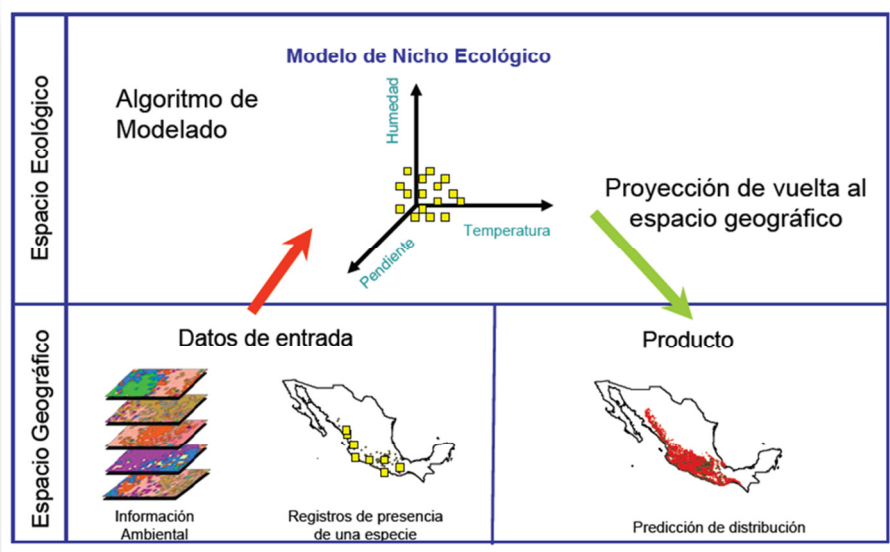
Fonte: Soberon e Peterson, 2005

Esquema 3: Esquematización do concepto de nicho ecolóxico (Soberon e Peterson, 2005).

En sentido estrito, o que se está a modelar é o nicho efectivo ou realizado e o resultado da análise indica, con certo valor de probabilidade (e erro estatístico asociado) o espazo xeográfico que é propio para unha especie.

Polo tanto, compre ter coidado ao interpretar a modelización dunha especie. O termo “modelo de distribución de especies” está moi estendido, pero hai que ter en conta que pode levar a erro, xa que o que se está a modelizar é o ambiente propicio para a especie e non a súa distribución real.

Algunhas das rexións da distribución potencial obtidas mediante modelos de nicho ecolóxico poden non estar ocupadas, xa sexa por efecto de interaccións bióticas con outros organismos (competencia, depreciación, escaseo de alimentos), porque non se puideron dispersar a eses lugares (por tempo de dispersión insuficiente ou barreiras xeográficas e ecolóxicas), ou ben, porque a especie fose excluída da área (modificación humana da paisaxe).



Esquema 4: Modelado de nicho ecológico.

Como se mencionou, existen unha serie de factores que teñen influencia na distribución das especies; tales factores son, xeralmente, cantidade de calor (temperatura), dispoñibilidade de auga e topografía, e de xeito máis particular, poden ser, tipos de solo, evapotranspiración, cantidade de luz incidente, número de días con temperaturas baixo cero, etc.

Así, para iniciar a análise, pártese da identificación das áreas específicas nas que se detecta a presenza das especies a analizar e dispónse dos seus respectivos mapas de distribución.

Co obxecto de estimar a probabilidade futura de presenza (e ausencia) das especies a analizar, en función dun conxunto de de variables predictoras, existen como xa se mencionou, varios modelos. Sen embargo, a maiores, para acadar dito obxecto, compe dispoñer de datos relativos á topografía do terreo, á información climática actual e datos predictivos sobre a situación climática futura a través do emprego de modelos climáticos.

Bibliografía e documentación

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. 2009
- Gobierno del Principado de Asturias. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. Oficina para la Sostenibilidad, el Cambio Climático y la Participación. *Análisis de escenarios de cambio climático en Asturias*. 2011
- IPCC (2000). *Special report on emission scenarios (SRES)*. N. Nakicenovic, R. Swart (eds.). Cambridge University Press. Cambridge (Reino Unido) e Nova Yorke (Estados Unidos). 570 pàx.
- Meteogalicia. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras. Xunta de Galicia. *Informe de aplicación de modelos de nicho ecológico como instrumento para predecir a distribución potencial da vide e castiñeiro en Galicia*. 2011
- Meteogalicia. Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Infraestructuras. Xunta de Galicia. *Informe climatolóxico ano 2013*. 2014
- Gutiérrez J.M., Herrera S., San-Martín D., Sordo C., Rodríguez J.J., Frochoso M., Ancell R., Fernández J., Cofiño A.S., Pons M.R., Rodríguez M.A. *Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termoplumiometría*. Consejería de Medio Ambiente. Gobierno de Cantabria. Santander. 2010
- Van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.) 2009: *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Benestad, R.E. (2001) *A comparison between two empirical downscaling strategies*, *Int. J. Climatology*, Vol 21, Issue 13, pp.1645-1668
- Benestad, R.E. (2004) *Empirical-Statistical Downscaling in Climate Modeling* EOS Volume 85, Number 42, October 19, p. 417
- J. M. Gutiérrez & M. R. Pons (2006). *Modelización numérica del cambio climático: bases científicas, incertidumbres y proyecciones para la Península Ibérica*. *Rev. C. & G.*, 20 (3-4), 15-28.
- Josep Enric Llebot. *Bases de la modelización climática*. En: Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. *Agua y cambio climático*. 2009. Páx 63-72
- Giorgi F. *Regionalización de la información sobre el cambio climático para la evaluación de impactos y la adaptación a los mismos*. *Boletín de la OMM*. 57. 2 (2008). P 86-92
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Resultados gráficos de proyecciones regionalizadas de cambio climático*. [Consulta: ano 2014]. Disponible en:
http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?opc4=0&opc1=ga

- U.S. Department of Commerce. National Oceanic & Atmospheric Administration. NOAA Research. Regional and Local-scale Assimilation and Modeling. . [Consulta: ano 2014]. Disponível en: <http://www.esrl.noaa.gov/>