

2010

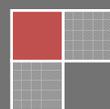
GUÍA DE PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL Y LOCAL A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES

La GUÍA DE PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL Y LOCAL A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES busca ofrecer a la comunidad científica, académica y a las personas interesadas en la realización de escenarios de cambio climático ajustados a un área de estudio en particular, la información mínima que les permita realizar esta tarea conservando estándares definidos a nivel nacional para la posterior intercomparación de resultados.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

*Blanca Elvira Oviedo Torres – Gloria León Aristizábal
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM
Bogotá, 2010*



GUÍA DE PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL Y LOCAL A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES

Bogotá, Diciembre de 2010

Contenido

GLOSARIO	1
INTRODUCCIÓN	10
1. ANTECEDENTES	14
1.1. ANTECEDENTES GLOBALES.....	14
1.2. PROYECTOS CONJUNTOS DE REGIONALIZACIÓN	16
CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment)	16
PRUDENCE	18
CLARISE-LPB.....	18
ENSEMBLES.....	19
1.3. ANTECEDENTES EN COLOMBIA Y ESTADO ACTUAL.....	19
1.4. ESTUDIOS RELEVANTES DE VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA	25
2. ESCENARIOS DE EMISIONES Y MODELOS GLOBALES DE CAMBIO CLIMÁTICO	27
2.1. Escenarios de Emisiones de CO2 (SRES) y Otros Escenarios (Magicc).	33
2.2. Modelos Climáticos Globales	34
3. ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES	37
3.1. METODOLOGIA GENERAL PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO REGIONALES Y LOCALES	37
3.2. DATOS DISPONIBLES DE MODELOS GLOBALES	45
3.3. VALIDACIÓN DE MODELOS.....	64
3.4. MÉTRICAS	65
3.5. INCERTIDUMBRE.....	66
4. CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA COLOMBIA.....	74
4.1. ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO	74
4.1.1. GRILLA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS.....	74
4.1.2. FORMATO DE ARCHIVOS	74
4.1.3. PRESENTACIÒN DE INFORMACIÒN	76
4.2. ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	76

4.2.1.	GRILLA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS.....	77
4.2.2.	FORMATO DE ARCHIVOS	77
4.2.3.	PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN	78
5.	ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS	79
6.	RECOMENDACIONES	81
	LÍNEAS DE TRABAJO PARA GENERAR ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	81
	SERVICIO CLIMÁTICO	82
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

GLOSARIO

Aerosoles: Grupo de partículas sólidas o líquidas transportadas por el aire, con un tamaño de 0,01 a 10 mm, que pueden sobrevivir en la atmósfera al menos durante unas horas. Los aerosoles pueden tener un origen natural o antropogénico. Los aerosoles pueden tener influencia en el clima de dos formas diferentes: directamente, por dispersión y absorción de la radiación, e indirectamente, al actuar como núcleos de condensación en la formación de nubes o modificar las propiedades ópticas y tiempo de vida de las nubes (IPCC, 2001).

Amortiguación radiativa: Un forzamiento radiativo positivo impuesto al sistema Tierra-atmósfera (por ejemplo, mediante la adición de gases de efecto invernadero) representa un excedente de energía. Cuando esto ocurre, la temperatura de la superficie y de la atmósfera inferior aumenta e incrementa, a su vez, la cantidad de radiación infrarroja que se emite al espacio, con lo que se establece un nuevo balance de energía. El aumento de las emisiones de radiación infrarroja al espacio para un aumento de temperatura dado se denomina amortiguación radiativa (IPCC; 1995).

Atmósfera: Cubierta gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está formada casi en su integridad por nitrógeno (78,1 por ciento de la proporción de mezcla de volumen) y por oxígeno (20,9 por ciento de la proporción de mezcla de volumen), junto con una serie de pequeñas cantidades de otros gases como argón (0,93 por ciento de la mezcla de volumen), el helio, y gases radiativos de efecto invernadero como el dióxido de carbono (0,035 por ciento de la mezcla de volumen) y el ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, con una cantidad variable pero que es normalmente de un 1 por ciento del volumen de mezcla. La atmósfera también contiene nubes y aerosoles (IPCC, 2001).

Biosfera: Parte del sistema terrestre que comprende todos los ecosistemas y organismos vivos en la atmósfera, en la tierra (biosfera terrestre), o en los océanos (biosfera marina), incluida materia orgánica muerta derivada como lo son la basura, la materia orgánica en suelos y los desechos oceánicos (IPCC, 2001).

Cambio Climático: Se refiere a cualquier cambio en el clima a través del tiempo debido a la variabilidad natural del mismo o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2001). Según la Convención Marco de Cambio Climático, el cambio climático se refiere al cambio del clima que es atribuido directa o indirectamente por la

actividad humana, alterando la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (UNFCCC, 1992) .

Cambio Global: *Es el cambio del valor medio de una variable meteorológica que ocurre en todo el planeta. Generalmente se refiere al incremento de la temperatura superficial del globo terrestre ocasionado por el incremento de gases efecto invernadero residentes en la estratósfera.*

Ciclo del carbono: *Término utilizado para describir el intercambio de carbono (en formas diversas; por ejemplo, como dióxido de carbono) entre la atmósfera, el océano, la biosfera terrestre y los depósitos geológicos. (IPCC, 1995)*

Clima: *Descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante periodos de varios decenios (normalmente, tres decenios, según la normal climatológica definida por la Organización Meteorológica Mundial). Dichas cantidades son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento), aunque en un sentido más amplio el "clima" es una descripción del estado del sistema climático (IPCC; 1995).*

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático: *Reunión de países pertenecientes a las Naciones Unidas que busca lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. En virtud del Convenio, los gobiernos: recogen y comparten la información sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, las políticas nacionales y las prácticas óptimas; ponen en marcha estrategias nacionales para abordar el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los efectos previstos, incluida la prestación de apoyo financiero y tecnológico a los países en desarrollo; cooperan para prepararse y adaptarse a los efectos del cambio climático. (UNFCCC, 1992)*

Criosfera: *Componente del sistema climático que consiste en el conjunto de nieve, hielo, permafrost, por encima y por debajo de la superficie terrestre y oceánica (IPCC, 2005)*

Efecto Invernadero: *Los gases de efecto invernadero absorben la radiación infrarroja, emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a los mismos gases, y por las nubes. La radiación atmosférica se emite en todos los sentidos, incluso hacia la superficie terrestre. Los gases de efecto invernadero atrapan el calor*

dentro del sistema de la troposfera terrestre. A esto se le denomina 'efecto invernadero natural.' La radiación atmosférica se vincula en gran medida a la temperatura del nivel al que se emite. En la troposfera, la temperatura disminuye generalmente con la altura. En efecto, la radiación infrarroja emitida al espacio se origina en altitud con una temperatura que tiene una media de -19°C , en equilibrio con la radiación solar neta de entrada, mientras que la superficie terrestre tiene una temperatura media mucho mayor, de unos $+14^{\circ}\text{C}$. Un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero produce un aumento de la opacidad infrarroja de la atmósfera, y por lo tanto, una radiación efectiva en el espacio desde una altitud mayor a una temperatura más baja. Esto causa un forzamiento radiativo, un desequilibrio que sólo puede ser compensado con un aumento de la temperatura del sistema superficie troposfera. A esto se denomina 'efecto invernadero aumentado' (IPCC, 2001)

Emisiones: se entiende la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados (UNFCCC, 1992).

Escala espacial: Continental: 10 - 100 millones de kilómetros cuadrados (km^2), regional: 100 millares - 10 millones de km^2 , local: menos de 100 millares de km^2 (IPCC, 1995).

Escala temporal: Tiempo característico para que un proceso pueda expresarse matemáticamente. Como muchos procesos muestran la mayoría de sus efectos muy pronto, y luego tienen un largo período de tiempo durante el que gradualmente se pueden expresar de manera matemática, a los efectos de este informe la escala temporal se define numéricamente como el tiempo necesario para que una perturbación en un proceso muestre al menos la mitad de su efecto final (IPCC, 2001).

Escenario: Descripción plausible de cómo puede evolucionar el futuro, sobre la base de una serie coherente e intrínsecamente homogénea de hipótesis sobre relaciones y fuerzas motrices esenciales (p.ej., ritmo de cambios tecnológicos, precio). Los escenarios no son predicciones ni previsiones (IPCC, 1995).

Escenario Climático: Condición climática asumida para evaluar impactos de la variación climática, de cambio climático o de efectos en ecosistemas y/o sectores socioeconómicos y/o sectores productivos.

Escenario de Cambio Climático: Representación del clima que se realiza bajo condiciones de cambio planetario en las concentraciones de gases de efecto invernadero o de aerosoles o cualquier otro factor que afecte el balance energético actual.

Escenario de Emisiones de CO₂: Representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son, en potencia, radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero o aerosoles), basada en un conjunto de hipótesis coherentes e internamente consistentes sobre las fuerzas impulsoras de este fenómeno (tales como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico) y sus relaciones clave. Los escenarios de concentraciones, derivados a partir de los escenarios de emisiones, se utilizan como insumos en una simulación climática para calcular proyecciones climáticas.

Escenario Local de Cambio Climático: Es una proyección climática que se ha calculado para una pequeña zona geográfica, a partir de escenarios globales de cambio climático.

Escenario Regional de Cambio Climático: Proyección de variables climáticas que se realiza para una región, utilizando resultados de escenarios globales de cambio climático.

Escenario LESS (GTII): Escenarios desarrollados para el SIE (GTII) con el fin de evaluar los sistemas de suministro de bajas emisiones de CO₂ en todo el mundo. Se hace referencia a ellos como sistemas LESS, o sistemas de suministro de bajas emisiones (Low-Emissions Supply Systems) (IPCC; 2001).

Eventos extremos en tiempo y clima: Son aquellos eventos de poca ocurrencia, dentro de la distribución estadística de referencia de variables meteorológicas en un lugar dado (IPCC, 2001b).

Forzamiento radiativo: Mide en términos simples la importancia de un posible mecanismo de cambio climático. El forzamiento radiativo es una perturbación del balance de energía del sistema Tierra-atmósfera (en $W m^{-2}$) que se produce, por ejemplo, a raíz de un cambio en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol; el sistema climático responde al forzamiento radiativo de manera que se restablezca el balance de energía. Un forzamiento radiativo tiende, si es positivo, a calentar la superficie y, si es negativo, a enfriarla. El forzamiento radiativo suele expresarse como un valor medio mundial y anual. Una definición más precisa del forzamiento radiativo, tal como se emplea en los informes del IPCC, es la perturbación del balance de energía del sistema superficie-troposfera, dejando un margen para que la estratosfera se reajuste a un estado de

equilibrio radiativo medio mundial (véase el Capítulo 4 de IPCC (1994)). Se denomina también “forzamiento del clima” (IPCC; 1995).

Fuente: cualquier proceso o actividad que libera un gas de invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de invernadero en la atmósfera (UNFCCC, 1992).

Gases de efecto invernadero: son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropogénicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja (UNFCCC, 1992). Los gases efecto invernadero contemplados en el Anexo A del protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998) son Dióxido de carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de azufre (SF₆). También son considerados gases efecto invernadero el Ozono (O₃) y el vapor de agua (H₂O) según el IPCC (IPCC, 1995) aunque estos no son fácilmente controlables por el hombre.

Hidrosfera: Componente del sistema climático que consta de superficie líquida y aguas subterráneas, como los océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas subterráneas, etc. (IPCC; 2001).

Incertidumbre: Expresión del nivel de desconocimiento de un valor (como el estado futuro del sistema climático). La incertidumbre puede ser resultado de una falta de información o de desacuerdos sobre lo que se conoce o puede conocer. Puede tener muchos orígenes, desde errores cuantificables en los datos a conceptos o terminologías definidos ambiguamente, o proyecciones inciertas de conductas humanas. La incertidumbre se puede representar con valores cuantitativos (como una gama de valores calculados por varias simulaciones) o de forma cualitativa (como el juicio expresado por un equipo de expertos) (IPCC, 2001).

IPCC: Intergovernmental Panel of Climate Change o Panel Intergubernamental de Cambio Climático es un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático establecido conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988 (UNFCCC, 1998).

Litosfera: Capa superior de la Tierra sólida, tanto oceánica como continental, compuesta de rocas de la corteza terrestre y la parte fría—elástica principalmente—de la capa superior del manto. La actividad volcánica, aunque es parte de la litosfera, no se considera parte del sistema climático, pero actúa como un componente del forzamiento externo (IPCC, 2001).

Modelo Global de Cambio Climático: Es un programa o conjunto de programas de software que simula el efecto que tiene en el globo terrestre, el cambio de concentración de gases efecto invernadero en el comportamiento medio de las variables meteorológicas.

Parametrización: En la modelización del clima, técnica empleada para representar aquellos procesos que no es posible resolver a la resolución del modelo (procesos a escala subreticular) mediante las relaciones entre el efecto de dichos procesos promediado en área y el flujo a mayor escala (IPCC, 1995).

Potencial de reducción de GEI: Posibles reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (cuantificadas en términos de reducciones absolutas o en porcentaje de emisiones de referencia) que pueden lograrse aplicando tecnologías y medidas (IPCC, 1995).

Predicción climática: Resultado de un intento de producir la descripción o la mejor estimación de la evolución real del clima en el futuro. Esta predicción se puede dar en términos de escalas temporales estacionales, interanuales o a largo plazo (IPCC, 2001).

Protocolo de Kyoto: Acuerdo de países pertenecientes a las Naciones Unidas en virtud del cual se comprometen a controlar, limitar y reducir las emisiones de gases efecto invernadero. Firmado en diciembre 11 de 1997 en la ciudad de Kyoto, Japón (UNFCCC, 1998).

Proyección climática: Proyección de la respuesta del sistema climático a escenarios de emisiones o concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, o escenarios de forzamiento radiativo, basándose a menudo en simulaciones climáticas. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas para enfatizar que las primeras dependen del escenario de forzamientos radiativo/emisiones/concentraciones/radiaciones utilizado, que se basa en hipótesis sobre, por ejemplo, diferentes pautas de desarrollo socioeconómico y tecnológico que se pueden realizar o no y, por lo tanto, están sujetas a una gran incertidumbre (IPCC, 2001).

Respuesta climática transitoria: Aumento medio de la temperatura del aire en la superficie, sobre un período de 20 años, centrada en la época de duplicación del CO₂, por ejemplo, en el año 70 en un 1 por ciento por año, para un experimento de aumento de CO₂ con una simulación climática mundial conjunta (IPCC, 2001).

Respuesta climática: Mecanismo de interacción entre procesos en el sistema climático, cuando el resultado de un proceso inicial desencadena cambios en un segundo proceso que, a su vez, afecta al primero. Una respuesta positiva intensifica el proceso original, y una negativa lo reduce (IPCC, 2001).

Respuesta climática transitoria: Respuesta del sistema climático o de un modelo del clima en función del tiempo, a raíz de un cambio de forzamiento variable con el tiempo (IPCC; 1995).

Simulación climática (jerarquía): Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas, y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de respuesta, que incluye todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar por simulaciones de diferente complejidad— es decir, que para cualquier componente o combinación de componentes se puede identificar una ‘jerarquía’ de simulaciones, que varían en aspectos como el número de dimensiones espaciales, el punto en que los procesos físicos, químicos o biológicos se representan de forma explícita, o el nivel al que se aplican las parametrizaciones empíricas. Junto con las simulaciones generales de circulación atmosférica/oceánica/ de los hielos marinos (AOGCM) se obtiene una representación completa del sistema climático. Existe una evolución hacia simulaciones más complejas con química y biología activas. Las simulaciones climáticas se aplican, como herramienta de investigación, para estudiar y simular el clima, pero también por motivos operativos, incluidas las previsiones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC, 2005).

Sistema Climático: Sistema muy complejo que consiste en cinco componentes principales: la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la superficie terrestre y la biosfera, y las interacciones entre ellas. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna debido a forzamientos externos, por ejemplo, erupciones volcánicas, variaciones solares, y forzamientos inducidos por el hombre tales como la composición cambiante de la atmósfera y el cambio en el uso de las tierras (IPCC, 2001). Es la totalidad de la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la geósfera, y las interacciones que ocurren entre ellas (UNFCCC, 1992).

Spin-up: es una técnica utilizada para inicializar un modelo de clima mundial atmósfera/océano (MCMAO). Actualmente no es posible diagnosticar con exactitud el estado del sistema atmósfera/océano y, por lo tanto, no es posible prescribir las condiciones iniciales observadas para un experimento con un MCMAO. En lugar de ello,

se hace funcionar por separado los componentes atmósfera y océano del modelo, forzados mediante unas condiciones de contorno observadas, agregando posiblemente a continuación otro periodo de “spin-up” en que la atmósfera y el océano están acoplados entre sí, hasta que el modelo se halla próximo a un estado estacionario (IPCC; 1995).

Sumidero: *cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera (UNFCCC, 1992).*

Tiempo de respuesta: *El tiempo de respuesta o tiempo de ajuste es el tiempo necesario para que el sistema climático o sus componentes se reequilibren en un nuevo estado, tras unos forzamientos que resultan de procesos o respuestas internos y externos. Es muy diferente para los diversos componentes del sistema climático. El tiempo de respuesta de la troposfera es relativamente corto, de días a semanas, mientras que el de la estratosfera se equilibra en una escala temporal comprendida en unos pocos meses. Debido a su gran capacidad térmica, los océanos tienen un tiempo de respuesta considerablemente mayor, normalmente decenios, pero que pueden ser incluso siglos o milenios. Por lo tanto, el tiempo de respuesta del sistema conjunto superficie–troposfera es lento, si se compara con el de la estratosfera, y se encuentra determinado principalmente por los océanos. La biosfera puede responder rápidamente (por ejemplo, frente a sequías), pero su respuesta es también muy lenta para cambios impuestos (IPCC, 2001).*

Tiempo presente: *Variabilidad del clima: La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC, 2001).*

ENLACES DE INTERÉS

Las anteriores definiciones e información adicional de contexto se pueden encontrar en los siguientes enlaces:

- AEMET. www.aemet.es: Agencia Estatal de Meteorología de España. Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España.
- Cenpat – Centro Nacional Patagónico: www.cenpat.edu.ar/. Argentina.
- Centro de Investigaciones del mar y de la atmósfera: <http://www.cima.fcen.uba.ar/espanol/index.htm>
- Centro Mario Molina: <http://www.centromariomolina.org/>
- CORDEX Experiment: <http://www.wcrp-climate.org/mission.shtml>
- CRU - Datos de observaciones para validación de modelos provenientes de Climate Research Unit (CRU) http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=cru21.
- Fundación Bariloche: <http://www.fundacionbariloche.org.ar/cambioclimatico.htm>
- Fundación para la investigación del clima: <http://www.ficlima.org/fic/proyectos.htm>
- IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: www.ideam.gov.co
- IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Change: <http://www.ipcc.ch/>
- IRI - The International Research Institute for Climate and Society:: <http://portal.iri.columbia.edu/portal/server.pt>
- NCAR - The National Center for Atmospheric Research: <http://www.cgd.ucar.edu/>
- UCAR – University Corporation for Atmospheric Research: <http://www2.ucar.edu/>
- United Nations Framework convention on climate change: <http://unfccc.int/2860.php>
- WMO - World Meteorological Organization: www.wmo.int/

INTRODUCCIÓN

La motivación para generar escenarios de cambio climático locales y regionales se basa en la necesidad de tener proyecciones de los posibles impactos del cambio climático sobre los diferentes ecosistemas y sectores socioeconómicos. El sector público es uno de los más interesados en tener dichas proyecciones ya que son insumo para la planeación de obras como embalses o políticas de uso del agua o instalación de redes de tuberías para transporte del agua, etc.

El País requiere estimar cualitativa y cuantitativamente los cambios del clima que se esperan para el próximo siglo: Su impacto en la biodiversidad, en las zonas costeras (playas), en el recurso hídrico y su influencia en la actividad agropecuaria, etc.

La posibilidad de intercomparar datos e información entre las instituciones oficiales, académicas y privadas interesadas en realizar escenarios regionales y locales de cambio climático, así como el incremento en la potencialidad de aprovechamiento de dichos resultados, se apoya en la estandarización de formatos de salida, uso de grillas con celdas de similar tamaño, en la evaluación de los modelos utilizados y en el reporte de la incertidumbre detectada.

Independientemente de los modelos globales utilizados para determinar las condiciones de contorno para el downscaling dinámico, del software para el escalamiento regional y local, de los escenarios de emisiones seleccionados o de las técnicas estadísticas aplicadas para cambio de escala, es deber de quien publica los escenarios regionales y globales, indicar el grado de incertidumbre de los resultados y los criterios que fueron tenidos en cuenta para cuantificar dicha incertidumbre.

La publicación de los escenarios deberá ser enfocada a los tipos de grupos que tienen intereses comunes. Por ejemplo, la comunidad académica requiere archivos de salida para posteriores simulaciones mientras que la comunidad en general, estará interesada en visualizar las proyecciones encontradas de manera gráfica y de fácil entendimiento.

La ganancia a nivel nacional se verá reflejada en que se podrán compartir esfuerzos y recursos para no repetir trabajos de predicción a plazo medio o a largo plazo.

Finalmente, la experiencia de Europa indica que se requiere de un Servicio Climático Nacional que sea el encargado de realizar las predicciones a largo plazo para el país, facilitar a terceros la información requerida para que ellos realicen sus propios escenarios, reunir los resultados generados para el País por otras instituciones para encargarse de su centralización y divulgación, entre sus funciones principales.

Problemática del cambio climático

Se comenzó a hablar de cambio climático cuando se encontró que las observaciones de las variables climatológicas registraban una tendencia al aumento de las temperaturas de la atmósfera y del mar. Este hecho alertó a la comunidad científica quien comenzó a relacionar eventos como el deshielo de los polos y el incremento en el nivel del mar con el aumento de la temperatura media global. Cambios en el comportamiento de la precipitación con una tendencia a su reducción, temperaturas extremas que han provocado olas de calor, desplazamiento de la flora y de la fauna a zonas que antes eran consideradas más frías, incremento en la temperatura de lagos y ríos que incide en la calidad de sus aguas y modificación en los sistemas marinos coinciden con el hecho de que la temperatura media de la superficie y del mar ha aumentado (IPCC, 2007b).

Los cambios en la temperatura del mar y de la atmósfera tienen efectos sobre los patrones climáticos, sobre el recurso hídrico, afecta la cobertura vegetal, modifica pisos térmicos permitiendo el traslado de vectores como la malaria y hace más frecuentes y severos los fenómenos meteorológicos severos, pone en riesgo especies vegetales y animales afecta la seguridad alimentaria, entre otros (Ribalaygua, 2009).

La causa de este aumento gradual en la temperatura es atribuido al efecto invernadero, el cual consiste en que la radiación entrante a la tierra proveniente del sol, en forma de onda corta, se transforma en energía térmica, de onda larga, y se devuelve hacia las capas altas de la atmósfera, sin embargo, encuentra una barrera que no la deja salir por lo cual se conserva dentro de la atmósfera. Esta barrera está conformada por los gases denominados de efecto invernadero.

El reto es conocer los posibles cambios que puedan ocurrir en una región o en una localidad para definir medidas de adaptación que permitan minimizar el impacto del cambio climático en el área de interés. Para tal efecto es necesario generar escenarios regionales y locales de clima futuro para así evaluar el impacto del cambio esperado en cada escenario.

Problemática de la modelación de escenarios globales

Conocer con seguridad cuáles son las emisiones de gases efecto invernadero en la actualidad es todo un reto, es una labor compleja que los países están abordando con metodologías diseñadas especialmente para hacer un estimativo de dichas emisiones. Más complejo aún es saber cuáles serán las emisiones futuras. El IPCC ha supuesto algunos escenarios de emisiones globales que pretenden tener en cuenta las más probables circunstancias que podrían ocurrir en el futuro basándose en el consumo de combustibles fósiles, el comportamiento de la economía y el crecimiento de la población mundial.

Cuando se realiza la modelación de escenarios globales se parte del hecho de que no existe la certidumbre total de que las condiciones futuras sean las que se supusieron en los escenarios, sin embargo, es un punto de partida que ha sido acordado por la comunidad científica mundial. Al realizar la modelación de los futuros dados por los escenarios, es necesario recurrir a modelos dinámicos que puedan representar adecuadamente el ciclo del carbono y las ecuaciones matemáticas involucradas en la simulación del sistema atmósfera-tierra-mar.

Problemática de la modelación de escenarios regionales

La modelación de escenarios regionales se realiza a partir de la información dada por los modelos globales de cambio climático, los cuales tienen una resolución muy pequeña y aportan datos para grandes áreas del globo. Regionalizar esta información significa adaptarla a áreas más pequeñas, por ejemplo un país, y realizar nuevos cálculos que reflejen la interacción de la atmósfera con el suelo, el mar, la cobertura vegetal, los cuerpos de agua, etc. Esto tiene asociado un alto grado de complejidad en los cálculos, los cuales dependen de condiciones de inicio adecuadas (obtenidas de los modelos globales) y los resultados obtenidos tendrán un grado de incertidumbre que es necesario acotar, medir y notificar.

La realización de escenarios regionales de cambio climático puede hacerse mediante software especializado que utilice directamente los archivos generados por los modelos globales y tenga involucrada la topografía y uso del suelo de la región a proyectar. Estos modelos, denominados dinámicos, exigen equipos con buena capacidad de cómputo y de almacenamiento de información, así, como tiempo de procesamiento para la obtención de resultados. Existen modelos que hacen uso de la estadística para la regionalización, los cuales no exigen tantos recursos tecnológicos, sin embargo, no tienen en cuenta los procesos físicos ocurridos en la interacción de la atmósfera con la superficie.

Problemática de la modelación de escenarios locales

La generación de escenarios locales tiene las mismas características de la generación de modelos regionales, con la diferencia de que los cálculos se deben realizar para áreas más pequeñas, por ejemplo, de una ciudad. La complejidad de los cálculos y las condiciones de inicio influyen de igual manera que en los escenarios regionales, sin embargo, los escenarios locales suelen hacerse con técnicas estadísticas que minimicen el costo de uso de computadores y software complejo y, además, que minimicen el tiempo de procesamiento de datos. La incertidumbre será diferente a la utilizada para los modelos regionales e igualmente debe ser minimizada, estimada y reportada junto con los resultados obtenidos.

Objetivo del documento

El presente documento busca exponer los avances que en la materia ha tenido Colombia en los últimos años, los resultados generados a partir de la aplicación de modelos y evidenciar los posibles caminos a seguir para lograr resultados a nivel regional y local que ofrezcan la información que la comunidad en general, científica, económica y política requieren para la toma de decisiones en cada una de las esferas en las que actúa. Su objetivo último es definir el marco teórico para el desarrollo de escenarios de cambio climático a escala regional y local que ofrezcan información útil para estudios de impacto sobre los recursos naturales, salud, desarrollo económico, entre otros, con énfasis en proyecciones para el futuro cercano, de tal forma que se puedan definir medidas de adaptación.

1. ANTECEDENTES

En IPCC (1992), se utilizó un conjunto de escenarios de emisiones como base para las proyecciones climáticas, conocidos como escenarios IS92. En el Informe Especial del IPCC: Escenarios de Emisiones (Nakicenovic et al., 2000), se publicaron nuevos escenarios de emisiones, los llamados Escenarios del IEE (IPCC, 2001), más ampliamente identificados como escenarios SRES (Special Report on Emission Scenarios).

Países iberoamericanos están trabajando en la modelización de escenarios regionales y locales de cambio climático. Es así, como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2010), el Instituto Nacional de Ecología y varios organismos más de México, han venido realizando investigación en variabilidad climática, impactos del cambio climático, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático; observación sistemática del clima y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (INE, 2010).

En Colombia, el proyecto INAP lidera e integra los esfuerzos del gobierno nacional para estudiar la problemática del cambio climático en Colombia desde la visión de fortalecer la capacidad del País para generar escenarios de cambio climático que permitan producir información que sirva para tomar decisiones de adaptabilidad al cambio climático, de manejo de recursos naturales, de preparación para afrontar posibles amenazas a la salud por nuevas zonas que podrían verse afectadas por enfermedades como el Dengue, reducción de la cobertura de hielo de los nevados y cambios en el recurso hídrico, principalmente (IDEAM, 2010a).

1.1. ANTECEDENTES GLOBALES

En el año de 1998, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en unión con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), crearon el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) con el fin de que se convirtieran en la organización científica base encargada de analizar la información requerida para abordar el problema del cambio climático y evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y de formular estrategias de respuesta realistas (IPCC, 2007). El IPCC ha liderado técnicamente la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), constituida en 1992 y ha apoyado la iniciativa surgida de esta Conferencia conocida como el Protocolo de Kyoto de 1997.

El IPCC, en su último informe de resultados, denominado Cuarto Informe de Evaluación (AR4), trató los temas más sensibles asociados al cambio climático de acuerdo a tres grupos de investigación. El Grupo de trabajo I trató sobre “Los fundamentos físicos”, el Grupo de trabajo II sobre “Impactos, adaptación y vulnerabilidad”, y el Grupo de trabajo III sobre “Mitigación del cambio climático”. Se abordaron seis temas que abarcan desde la problemática sentida del cambio climático a nivel mundial, hasta la incertidumbre de los resultados pasando por adaptación y mitigación. Los temas analizados y reportados por el IPCC en su cuarto informe son: 1. información de los Grupos de trabajo I y II sobre los cambios del clima observados y los efectos del cambio climático ya acaecido sobre los sistemas naturales y la sociedad humana; 2. causas del cambio, las emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero, el forzamiento radiativo y el cambio climático resultante; 3. proyecciones de cambio climático futuro y sus impactos; 4. opciones y respuestas de adaptación y de mitigación, medidas de respuesta y desarrollo sostenible; 5. aspectos científicos, técnicos y socioeconómicos de la adaptación y de la mitigación, en consonancia con los objetivos y disposiciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC); 6. Conclusiones e incertidumbres clave.

Este informe y el de escenarios de emisiones de gases efecto invernadero (IPCC, 2000) se han convertido en la base de los estudios regionales y locales de cambio climático, desde la modelación y reducción de escala de los resultado de los modelos globales, hasta la definición de planes y propuestas de adaptación y mitigación para pequeñas áreas de interés.

En torno a estos temas, institutos de investigación, universidades y Naciones han adelantado estudios para obtener resultados e información aplicable a nivel mundial, regional o local. El IPCC ha compilado resultados de modelos de clima a los que se les ha incluido el forzamiento radiativo probable según los escenarios SRES (Special Report on Emission Scenarios) de emisiones sugeridos por el IPCC para el cálculo de proyecciones a varios años. Los resultados de estos modelos han sido validados y sometidos a duras pruebas de confiabilidad y publicados como referencia para estudios regionales y locales. A nivel Suramericano, se han logrado resultados de regionalización partiendo de la información de los modelos globales y determinado vulnerabilidades, medidas de adaptación y planes de mitigación basados en ellos.

En el tema específico de obtención de escenarios regionales y locales de cambio climático a nivel suramericano se cuentan con experiencias en Méjico, Argentina, Brasil, Perú, Chile, Colombia.

La simulación del sistema climático suele realizarse utilizando modelos dinámicos que utilizan las ecuaciones de balance de materia, balance energético, equilibrio hidrostático, movimiento y todas aquellas involucradas en la descripción física de los movimientos atmosféricos. Estos modelos ofrecen resultados precisos y confiables, sin embargo, requieren buenas máquinas de cómputo, tiempo de preparación de los datos de entrada, claridad en la definición de las condiciones de inicio y tiempo y capacidad de procesamiento. Existe un método menos costoso que es el uso de modelos estadísticos, los cuales se basan en la historia de las mediciones para generar pronósticos de acuerdo a unos supuestos dados. Esta opción suele tener asociada mayor incoherencia de los resultados desde el punto de vista espacial y de comportamiento físico esperado de las diferentes variables involucradas pero permite obtener resultados más rápidamente y sin consumir tantos recursos como lo hacen los modelos dinámicos.

1.2. PROYECTOS CONJUNTOS DE REGIONALIZACIÓN

La obtención de escenarios regionales y locales confiables requiere de una infraestructura importante en equipos, capacidad científica y personal entrenado. Existen varias iniciativas que buscan reunir esfuerzos para que los países produzcan resultados que puedan compartir y complementar. Algunos de estos proyectos creados para ser desarrollados en conjunto y así generar y compartir información en comunidad son CORDEX, Clarise, PRUDENCE, ENSEMBLE, entre otros.

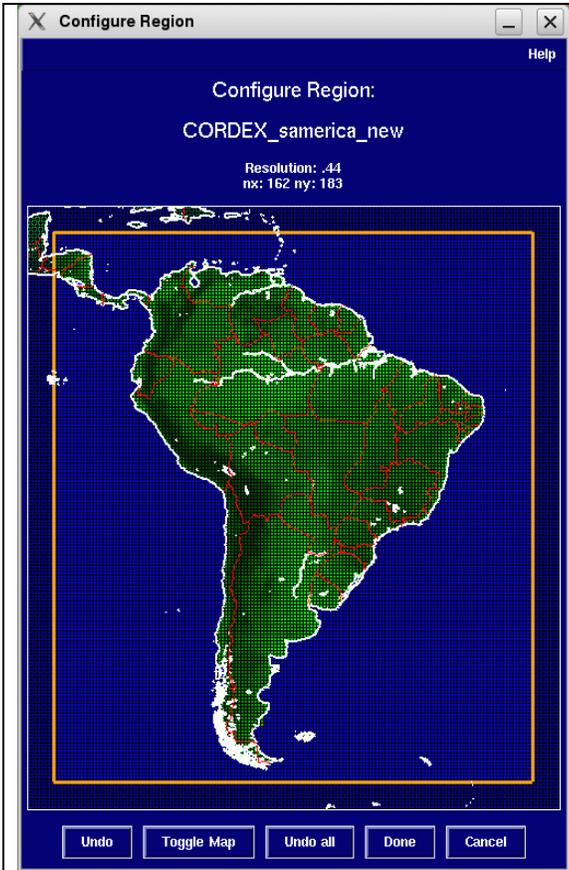
CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling Experiment)

CORDEX es un proyecto mundial promovido por el WCRP (World Climate Research Programme). El WCRP está conformado por miembros de la Organización Meteorológica Mundial, del Consejo Internacional para la Ciencia y de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO

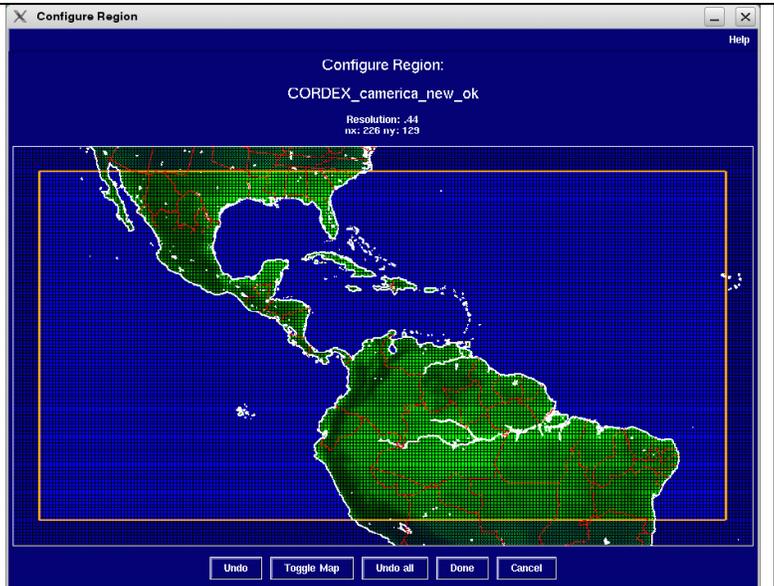
La misión de CORDEX es producir un conjunto de escenarios regionales de cambio climático a nivel global para contribuir con el quinto reporte de evaluación del IPCC y a la vez crear un espacio para que la comunidad mundial interesada en la realización de escenarios regionales de cambio climático comparta información, resultados, experiencias, tecnología y encuentre soporte técnico. CORDEX busca mejorar la interacción y la comunicación entre modeladores del clima global, los que están calculando escenarios regionales y los que están interesados en realizar estudios de vulnerabilidad, adaptación y mitigación debido al cambio climático.

Teniendo en cuenta que la incertidumbre en los resultados obtenidos en la regionalización de modelos de cambio climático, CORDEX tiene como meta tener suficiente información para determinar un valor razonable de incertidumbre mediante el uso de múltiples modelos de circulación global, varios escenarios de emisiones, diferentes modelos regionales, múltiples experimentos y corridas, diversas regiones y métodos de regionalización variados. Todo bajo los mismos estándares de uso y presentación de la información utilizada y generada.

En el marco de CORDEX se están produciendo proyecciones, mediante modelaciones dinámicas y estadísticas, teniendo en cuenta múltiples modelos globales de circulación general tomados del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 del WCRP). La resolución espacial utilizada es de $0.44^\circ \times 0.44^\circ$, que en la región ecuatorial equivale aproximadamente a 50 Km x 50 Km y se han seleccionado varios dominios que cubren la mayoría de países, buscando siempre aprovechar los proyectos regionales existentes en el mundo. La región objetivo primaria es Africa, sin embargo se tiene información de varias partes del mundo y se desea continuar ampliando las áreas de modelamiento. Para Suramérica se han definidos los siguientes dominios:



Coordenadas del polo rotado
 (Long; Lat): 123.94; -70.6)
 Esquina Superior Izquierda en coordenadas rotadas
 (Long;Llat)):143.92; 34.76
 Número de puntos de grilla en dirección-Oeste-Este:
 146
 Número de Puntos de grilla en dirección Norte-Sur:
 147



Coordenadas del polo rotado:
 (Long; Lat): 113.98; 75.74)
 Esquina Superior Izquierda en coordenadas polares rotadas (long; lat)):307.20; 20.68
 Número de puntos de grilla en dirección-Oeste-Este:
 210
 Número de Puntos de grilla en dirección Norte-Sur:
 113

Fuente: CORDEX 2010

La información disponible al público es de valores de temperatura y precipitación para el periodo de evaluación de enero de 1950 hasta diciembre de 2005 y proyecciones hasta el 2100. CORDEX está alentando a los países que quieran aportar al experimento, que realicen regionalizaciones a 0.22° x 0.22° y a 11° x 11° para lograr información a una mayor resolución.

Varios países asociados a CORDEX, realizan permanentemente aportes a CORDEX, como CORWES: **CO**ordinated **R**egional climate downscaling experiment using **W**Rf en España ejecutado por la comunidad española de usuarios del modelo dinámico WRF (Weather Research and Forecasting model), que calculan todas las variables requeridas por CORDEX y comparten sus resultados con el formato de salida dado por CORDEX.

PRUDENCE

El proyecto PRUDENCE (*Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*) nació de la necesidad de “evaluar el riesgo del cambio climático debido a las emisiones de gases efecto invernadero debido a las actividades antropogénicas”. Como los modelos de circulación general atmósfera-océano acoplados tienen una resolución aproximada a los 300 km, los modelos no ofrecen información detallada para zonas como las Alpes, el Mediterráneo o zonas europeas con características particulares debido a su limitada representación física del sistema climático que permitan realizar análisis de eventos extremos o impactos específicos. “PRUDENCE fue una investigación a escala europea, en la cual, desde el 1 de noviembre de 2001 hasta el 31 de octubre de 2004, estuvieron participando 25 centros de investigación en una o varias fases del proyecto con los siguientes objetivos:

1. *Direccionar y reducir las deficiencias en las proyecciones climáticas de tal forma que tengan menos incertidumbre para el continente europeo.*
2. *Cuantificar la incertidumbre en las predicciones del clima futuro y sus impactos usando un arreglo de modelos climáticos, modelos de impactos y el juicio de expertos.*
3. *Interpretar los resultados obtenidos en relación con las políticas europeas de adaptación o mitigación del cambio climático.” (PRUDENCE, 2010).*

Un aspecto importante para el proyecto PRUDENCE fue utilizar modelos de alta resolución con el fin de manejar aspectos críticos como la incertidumbre, aplicar modelos de impacto y metodologías de evaluación del impacto para proveer una unión entre la información del clima suministrada y su aplicación en las diferentes necesidades de la sociedad europea y su economía.

Esta tarea la realizó utilizando cuatro modelos atmosféricos de circulación general, ocho modelos regionales climáticos y varios modelos de impacto del clima. Debido a la heterogeneidad del posible cambio climático a través de Europa y los impactos que esto puede implicar, expertos europeos en clima, modelación de impactos, ciencias políticas y sociales están trabajando en equipo para asegurar una adecuada utilización del conjunto de simulaciones de cambio climático para la región, logrando un nuevo estándar de trabajo interdisciplinario en cuanto a cambio climático se refiere para Europa.

CLARISE-LPB

El proyecto CLARISE-LPB tiene como finalidad predecir el impactos del cambio climático regional en la cuenca de La Plata, en Sur América y el diseño de estrategias de adaptación para el uso del suelo, la agricultura, el desarrollo rural, la producción hidroeléctrica, el transporte fluvial, los recursos hídricos y los sistemas ecológicos en humedales. Está enmarcado en los objetivos del Proyecto Hidroclimático Regional para la Cuenca de La Plata, endosado en los páneles CLIVAR y GEWEX del Programa para la Investigación Climática Mundial (WCRP, por sus siglas en inglés).

Para cumplir con su misión, el proyecto CLARISE-LPB se ha propuesto proveer un ensamble de escenarios regionales hidroclimáticos y sus incertidumbres, para estudios de impacto del clima; proyectar posibles escenarios en la evolución del uso del suelo 2010-2040 y diseñar estrategias de adaptación en términos de desarrollo rural para las áreas más vulnerables; diseñar estrategias de adaptación ante los posibles escenarios hidrológicos y sus consecuencias sobre el periodo 2010-2040; asegurar la difusión de los resultados a los afectados, a los participantes, a la comunidad científica y al público a través de una página WEB donde se disponga la producción de reportes, libros de información, documentos científicos y la organización de actividades de entrenamiento para los relacionados con el proyecto (CLARISE-LPB, 2010).

ENSEMBLES

Este proyecto se creó con el objetivo de desarrollar un sistema de predicción en conjunto, a alta resolución espacial, utilizando modelos globales y regionales del sistema terrestre, validados y de calidad asegurada, con conjuntos de datos de Europa dados en grilla, para producir una estimación probabilísticamente objetiva de la incertidumbre en el clima futuro teniendo en cuenta la estacionalidad, ondas decadales y escalas de tiempo a varios años. Así mismo, cuantificar y reducir la incertidumbre en la representación de la física, la química, la biología y la antroposfera, y su relación con el sistema terrestre (Hewitt, 2005).

Los objetivos de este proyecto incluyen acotar las incertidumbres en las predicciones de cambio climático mediante integraciones con diferentes escenarios de emisión y diferentes modelos globales, proporcionando, además, métodos de pesado para la combinación de los resultados individuales (San Martín, 2009) y se extienden hacia la maximización de los resultados obtenidos a partir de las diferentes simulaciones, asociándolos a aplicaciones en la agricultura, salud, seguridad alimentaria, energía, recurso hídrico, seguridad y administración del riesgo (Hewitt, 2005).

ENSEMBLES está apoyando a CORDEX con simulaciones de Europa y de África, que es la región principal de CORDEX, así como desarrollando productos que contribuyen a la cuantificación de incertidumbres y a la divulgación de los resultados obtenidos en el marco del proyecto CORDEX.

1.3. ANTECEDENTES EN COLOMBIA Y ESTADO ACTUAL

Los escenarios de cambio climático llevados a una región o a áreas más pequeñas ha sido preocupación, no solo de Colombia, sino del mundo entero. Colombia, por ser un país con insipiente desarrollo industrial, no emite una cantidad de gases de efecto invernadero tal que se conviertan en factor decisivo para la afectación de la composición de la alta atmósfera del planeta, sin embargo, se prevé que el País sea una de las zonas más afectadas del globo con el cambio climático, en especial, los Andes colombianos (Rodríguez, et al., 2010). Por ejemplo, los glaciares son uno de los ecosistemas altamente vulnerables debido a la sentida deglaciación que están sufriendo en los últimos años (IDEAM, 2008).

En Colombia, el interés por la generación de escenarios de cambio climático para el País surgió con la participación en la ratificación del protocolo de Kioto y el compromiso adquirido de presentar la “Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático” y el estudio, que a partir de allí se generó para conocer su vulnerabilidad con el fin de definir las mejores opciones de mitigación y adaptación a los cambios que podrían presentarse en el territorio nacional (IDEAM, 2001a), y a continuado en ascenso, hasta lograr tener ensamble de modelos y de experimentos que ofrecen proyecciones de alta calidad para la región.

En la Primera Comunicación Nacional de Gases Efecto Invernadero se hizo un análisis acerca de las tendencias de temperatura superficial en diferentes regiones de Colombia y de la temperatura superficial del mar. Se utilizó el modelo MM5 para simular incrementos de la temperatura con escenarios del tercer informe del IPCC y estimar un posible aumento del nivel del mar en las zonas costeras de Colombia (IDEAM, 2001a).

El IDEAM y la Universidad Nacional de Colombia han adelantado trabajos en la generación de escenarios de cambio climático regionales partiendo de los escenarios de emisiones del IPCC (IPCC, 2000), desde el año 2006 aproximadamente. En el año 2007 se publicaron oficialmente los resultados de proyecciones para precipitación para Colombia, bajo el escenario A1B, utilizando el modelo global acoplado océano atmósfera - AOGCM del Instituto de investigaciones Meteorológicas (MRI) y la Agencia Meteorológica Japonesa (JMA), denominado MRI-CGM2.3, con una resolución de 20x20 Km, mucho mayor que la ofrecida por la mayoría de modelos globales, la cual suele ser de 2.5º, lo que equivale a 277.5 Km, aproximadamente en el Ecuador. En dicho trabajo se realizó un avance importante en la aplicación del concepto de verificación y validación de los resultados de los modelos globales y la corrección de los resultados dados por los mismos, según la climatología regional (Ruiz, IDEAM, 2007). En la Figura 1 1 se presenta un ejemplo de lo obtenido en este estudio.

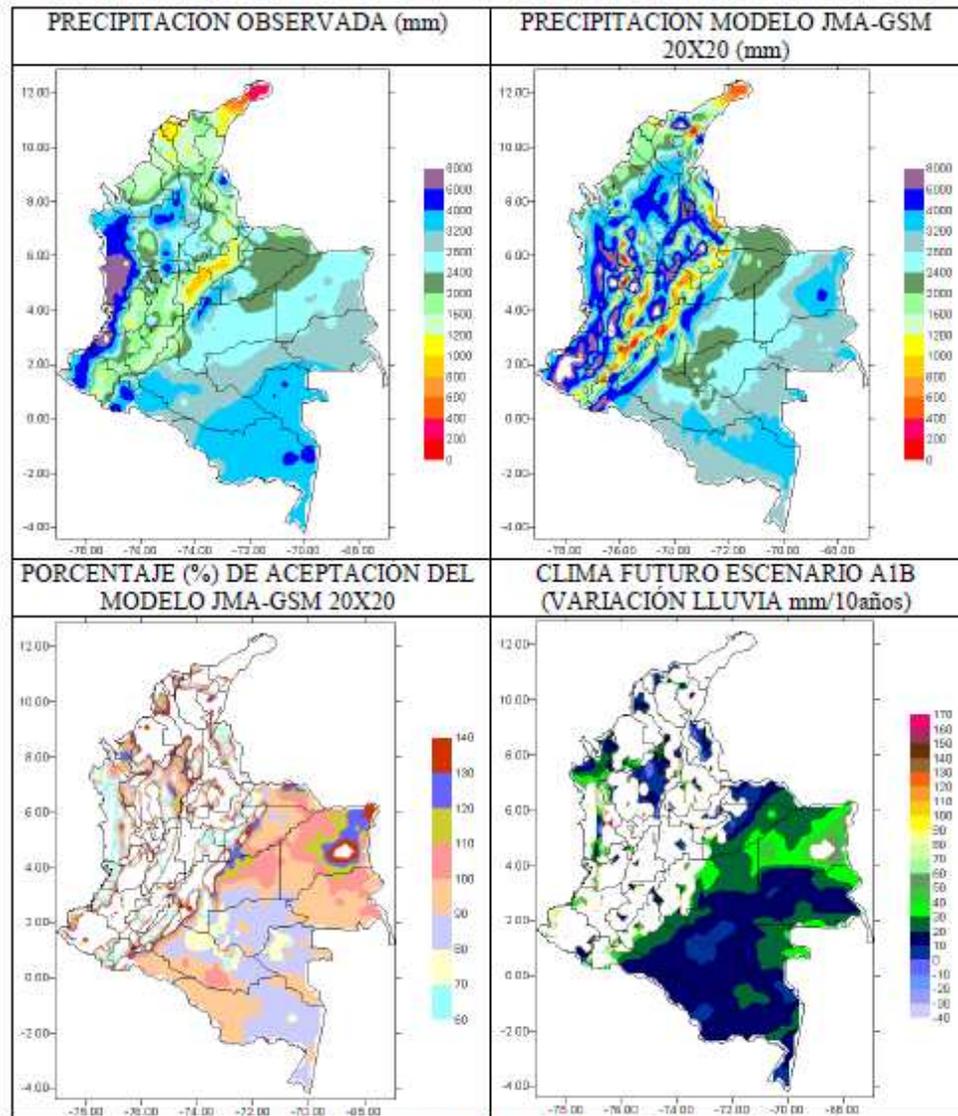


Figura 1. Validación del modelo JMA-GSM 20x20 km para la lluvia anual

Actualmente, en el marco del Proyecto Integrated National Adaptation Pilot (INAP), financiado con recursos del Banco Mundial, coordinado por la organización Conservación Internacional y ejecutado por el IDEAM, INVEMAR, CORALINA y el Instituto Nacional de Salud (MAVDT, 2009), se está trabajando en los siguientes frentes en el País:

- a. Disponibilidad de información del clima, variabilidad climática y cambio climático para la toma de decisiones.
- b. Programa de adaptación para ecosistemas de alta montaña.
- c. Medidas de adaptación en las áreas insulares colombianas.
- d. Respuesta al incremento de la exposición de vectores de enfermedades tropicales (malaria y dengue) inducida por el cambio climático.

Por el proyecto INAP, el IDEAM y la Universidad Nacional generaron resultados regionales utilizando el modelo PRECIS para determinar incrementos en la temperatura superficial. Se elaboraron proyecciones para la segunda mitad del siglo XXI en diferentes regiones del territorio colombiano y se evaluaron los resultados de las tendencias actuales y futuras y los posibles impactos del cambio climático en los sectores socioeconómicos y regiones del país (CI, UN, 2008).

Los resultados de la regionalización a Colombia de modelos globales, para las variables Precipitación, Temperatura Media, Temperatura Media Mínima, Temperatura Media Máxima, utilizando el modelo físico PRECIS, se encuentra a disposición de la comunidad en la página WEB del IDEAM presentados en forma de mapas. La información publicada muestra los cambios proyectados al 2040 hasta el 2100 con una frecuencia decadal. Igualmente, se realizó la reconstrucción del clima nacional para el periodo 1961-1990 (<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?IServicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1076>).

Con PRECIS se realizó la regionalización de proyecciones para los escenarios SRES A2, B2, A1B para las variables antes mencionadas y con WRF regionalizó proyecciones para el escenario A2 (IDEAM, 2010a). En la Figura 2 2 se muestra un ejemplo de los cambios en la temperatura media y en la precipitación que se esperarían en un escenario de cambio climático comparando lo esperado para el periodo comprendido entre el año 2011 y el año 2040 con respecto al periodo entre los años 1971 y 2000.

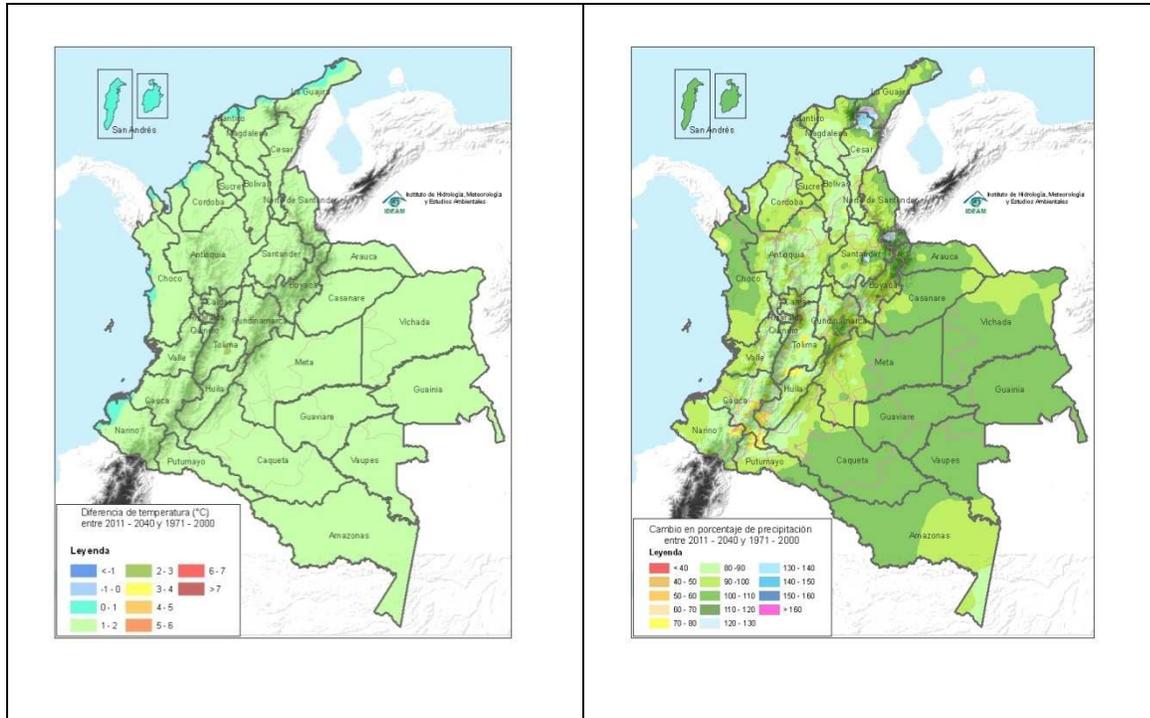


Figura 2. Cambios proyectados para la Temperatura Media y la Precipitación en el periodo 2011-2040 con respecto al periodo 1971-2000. Fuente: IDEAM, 2010a.

La regionalización dinámica de los escenarios A2, B2 y A1B se realizó teniendo en cuenta la presencia de sulfuros en la atmósfera, al igual que la ausencia de los mismos, obteniendo mapas similares a los que se muestran en la Figura 3 3.

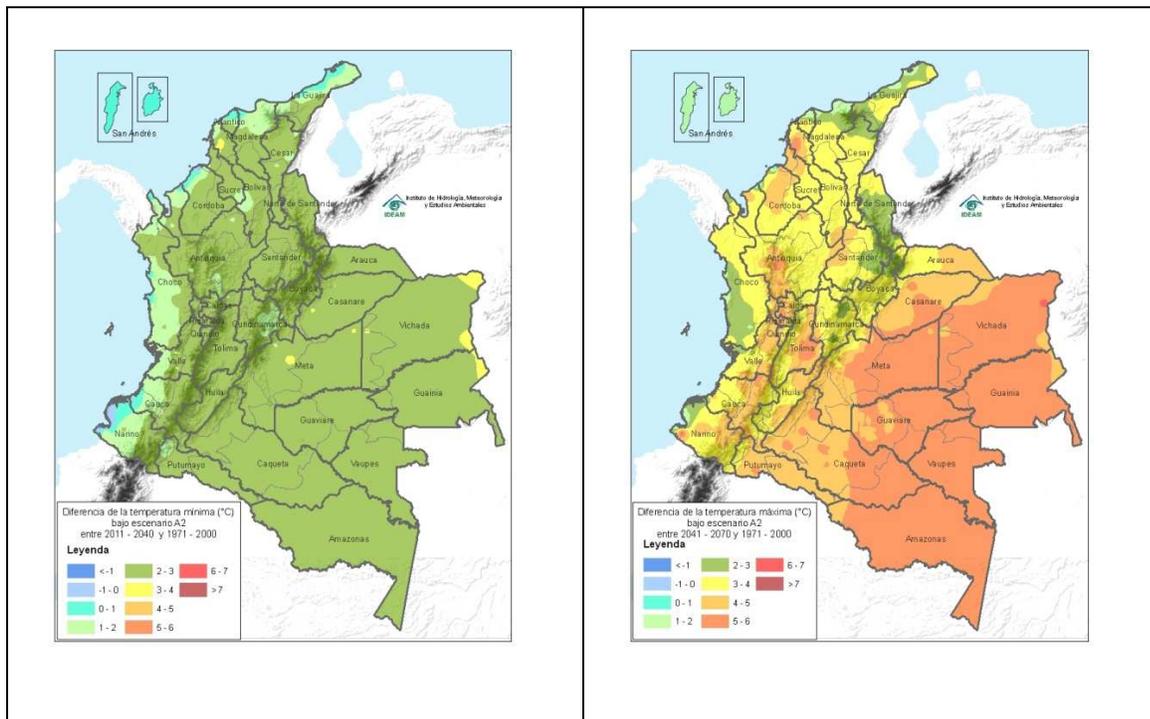


Figura 3. Cambios proyectados para la Temperatura Mínima y la Temperatura Máxima para el año 2040 en condiciones del escenario A2. Fuente: IDEAM, 2010.

El IDEAM calculó tendencias a los años 2040, 2070 y 2100 con el multiensamble de modelos para distintos escenarios de emisiones, lo cual permite reducir la incertidumbre de los resultados. En la Figura 4 se representan en mapas las posibles diferencias de temperatura que existirían en el futuro con respecto al presente para los escenarios A2, A2 con sulfuros, B2, B2 con sulfuros, A1B y A1B con sulfuros.

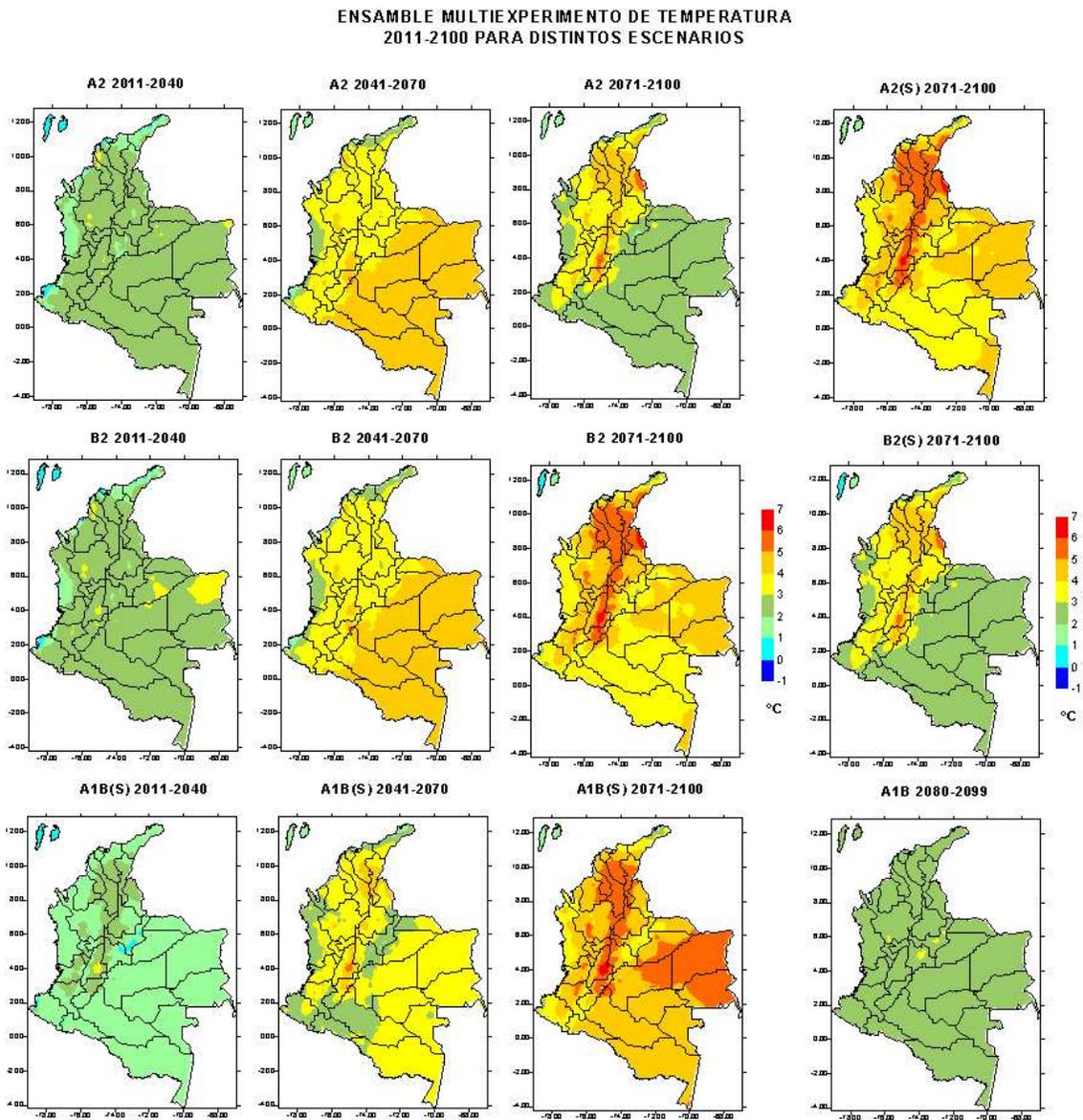


Figura 4. Diferencia de temperatura de clima futuro (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) con clima presente (1971-2000) bajo distintos escenarios y condiciones iniciales en los modelos globales. En el caso A1B 2080-2099 corresponde a la diferencia con el período base 1979-1998 suministrado por el GSM-MRI. Fuente: F.Ruiz, IDEAM, 2010.

La anterior información se convierte en una base adecuada y de calidad para aquellos estudios de vulnerabilidad y de adaptación que se requieran para diferentes zonas del País ya que presenta las diferencias entre la climatología base y la climatología proyectada para las variables climáticas que influyen notablemente en la zona ecuatorial del globo.

1.4. ESTUDIOS RELEVANTES DE VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

El estudio de vulnerabilidad más extenso y significativo para el País, realizado en los últimos años, se publicó en el capítulo 4 de la Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones Unidas, publicada en junio de 2010 (IDEAM, 2010b). Allí se determinó cuáles eran los sectores productivos del País más sensibles al cambio climático y su capacidad de adaptación. Igualmente se contemplaron los ecosistemas marinos y costeros, los glaciares, la población, el recurso hídrico y los principales ecosistemas existentes en el territorio colombiano. Esto, con base en la regionalización obtenida de los principales escenarios del IPCC (IDEAM, 2010a).

Como continuación al estudio de vulnerabilidad, en la Segunda Comunicación Nacional (IDEAM, 2010b), se establecieron líneas estratégicas a nivel nacional de adaptación al cambio climático y se presentaron los principales programas que se han venido desarrollando en el país para lograr una exitosa adaptación al cambio climático en zonas altamente vulnerables.

Previamente, en el 2001, se analizó la vulnerabilidad de la zona costera colombiana ante el ascenso del nivel del mar ocasionado por cambios globales en el clima y se plantean unas pautas para realizar medidas de adaptación. Este estudio incluyó el litoral Pacífico, el litoral Atlántico y la zona insular (IDEAM, 2001b) y en el año 2003, INVEMAR clasificó las zonas costeras según su vulnerabilidad, lo que le permitió definir acciones a tomar para mitigar dicha vulnerabilidad, en los próximos años (INVEMAR, 2003).

El proyecto INAP está trabajando varios frentes para lograr construir una base científica que permita conocer qué tan vulnerable es el País al cambio climático y cómo se podrían definir medidas de adaptación por medio de los siguientes programas: El programa de adaptación en ecosistemas de alta montaña, ejecutado por el IDEAM, el programa de adaptación insular continental, desarrollado por Invemar, el programa de adaptación insular oceánico, realizado por Coralina y el Sistema Integrado de Vigilancia y Control del Instituto Nacional de Salud que incluye el monitoreo y detección temprana de posibles cambios en las dinámicas de transmisión y exposición, inducidos por el cambio climático.

La agricultura es factor importante para la sostenibilidad alimentaria del País. Al respecto, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha venido adelantando estudios del efecto que tendrían cambios en la temperatura y en la oferta del recurso hídrico, sobre los principales cultivos colombianos. Los estudios adelantados al respecto indican que la temperatura afectaría la cantidad de áreas disponibles para la siembra de café, cacao, frutas y otros cultivos, mientras que la precipitación podría originar nuevas zonas de erosión en la zona andina y aumento en las inundaciones en la zona Caribe (CIAT, 2009).

2. ESCENARIOS DE EMISIONES Y MODELOS GLOBALES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Los escenarios de cambio climático se construyen con base en las estimaciones climáticas realizadas con los Modelos Climáticos Globales que hacen uso de ecuaciones matemáticas para describir el comportamiento de los factores que impactan el clima. Los factores anteriormente mencionados, junto con otros, como la dinámica atmosférica, los seres vivos, la energía procedente del Sol que llega a la Tierra, la composición físico-química de la atmósfera, en la cual se incluyen las concentraciones de los gases de efecto invernadero, la cantidad de partículas de materia que se encuentran en la atmósfera derivadas de las erupciones volcánicas y el uso de la tierra (albedo), entre otros, son considerados como variables de forzamiento radiativo que intervienen en la respuesta del equilibrio energético de la Tierra expresado por calentamiento o enfriamiento del clima global.

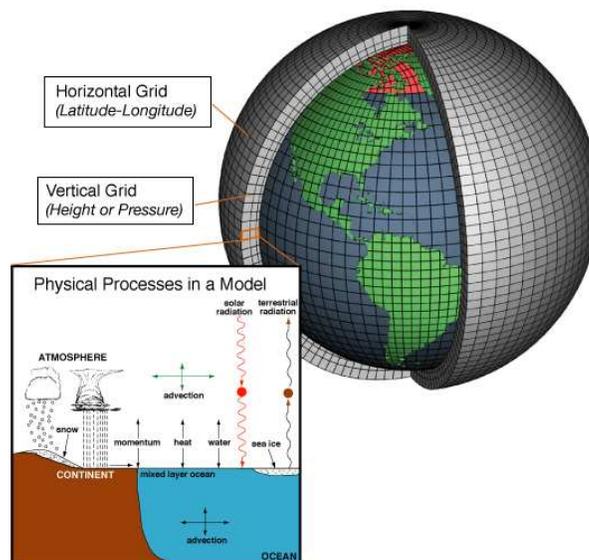


Figura 1. Estructura conceptual de un modelo de circulación general de la atmósfera. NOAA, 2008.

Hay varias arquitecturas o tipos de modelos de clima. Desde modelos simples, los cuales se basan en determinados componentes que afectan el clima tales como la atmósfera y los océanos o modelos muy complejos que integran varios factores de la atmósfera, biosfera, geosfera, hidrosfera, y criosfera, y tienen en cuenta las interacciones y retroalimentaciones que se dan entre ellos. Los modelos simples de circulación general de la atmósfera (Figura 1), manejan las leyes básicas de la física, la dinámica de fluidos y la química aplicadas a

la atmósfera, tales como la conservación de la masa, la energía y el momento, para representar en tres dimensiones la atmósfera en forma de cuadrícula o retícula, que están regularmente espaciados; los modelos hacen cálculos para obtener los vientos, la transferencia de calor, la radiación, la humedad relativa e hidrología superficial en cada retícula y evalúan las interacciones entre puntos contiguos.

Para la construcción de escenarios climáticos se han utilizados los modelos de circulación general atmósfera-océano. Estos modelos tienen una representación tridimensional de un modelo de circulación general de la atmósfera acoplado a otro de circulación general del océano. Caracterizan el clima global con una resolución horizontal que varía entre 250 y 600 km para distintas capas verticales, entre 10 y 20 capas en la atmósfera y hasta 30 en los océanos. Por ejemplo el modelo que ejecuta el Hadley Centre, Bracknell, Reino Unido (Figura 2), HadCM3 está constituido por un modelo atmosférico que tiene 19 capas horizontales para describir la atmósfera con una resolución espacial de 2.5 grados de latitud por 3.75 grados de longitud, con una malla reticular global de 96 x 73 celdas, equivalentes a una resolución espacial de 417 km x 278 km en el ecuador y reduciéndose a 295 km x 278 km a 45 grados de latitud; el modelo oceánico tiene 20 niveles con una resolución horizontal de 1.25° x 1.25°, con la cual se pueden representar importantes detalles de las estructuras de las corrientes oceánicas.

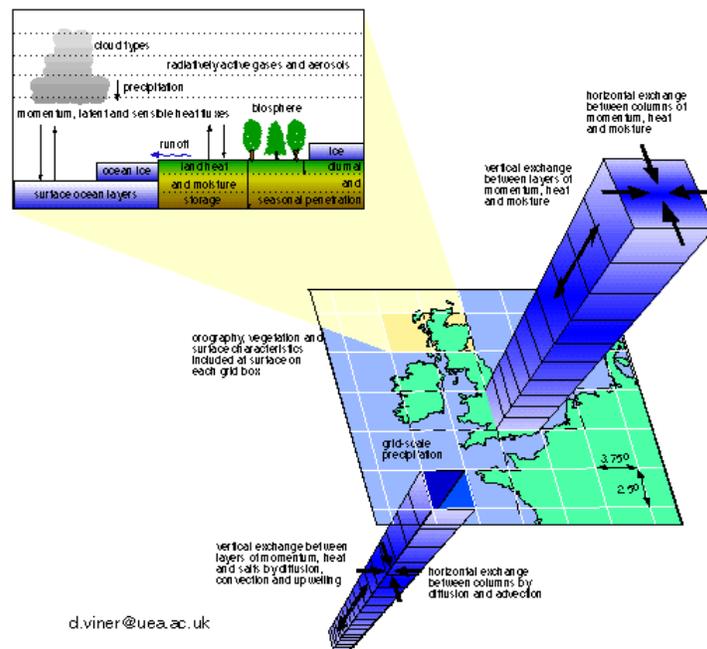


Figura 2. Estructura conceptual de un modelo de circulación general atmósfera-océano. CRU, 2000.

Los modelos usan la información sobre el estado de la atmósfera y del océano adyacente o de la superficie marina para calcular los intercambios de calor, humedad y momento entre los dos componentes, de manera que simulan directamente las condiciones pasadas y presente de los vientos, las corrientes oceánicas y muchas otras variables y procesos que caracterizan la atmósfera y los océanos; adicionalmente tienen el potencial de simular cambios de modalidad importante de la variabilidad interanual, como El Niño/La Niña. Por ejemplo, uno de estos modelos es el Modelo Comunitario del Sistema Climático (The Community Climate System Model, CCSM), del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (National Center for Atmospheric Research) NCAR de USA el cual es tan complejo, que se requieren aproximadamente de tres trillones de cálculos computarizados para simular un sólo día de clima global (NCAR, 2004).

Con los modelos de circulación general atmósfera-océano se han hecho las proyecciones de cambio climático para diferentes escalas espaciales y diferentes períodos usando 23 modelos para la simulación del clima mundial de centros de modelamiento climático de países como China, Noruega, Canadá, Estados Unidos, Francia, Australia, Reino Unido, Alemania, Rusia y Japón. Los modelos usados son de diferentes resoluciones espaciales, algunas gruesas del orden de 4°X5°, mientras que se cuentan con otras bastante finas de 1.1°X1.1°, como el modelo MIROC3.2 (hires) del Center for Climate System Research (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), del Japón.

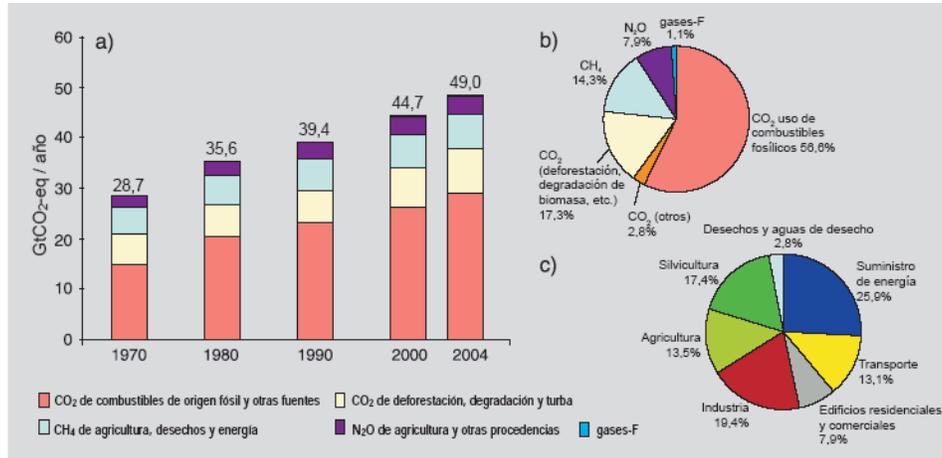
Las proyecciones del clima se hacen para varios decenios o a más largo plazo en el futuro. Para las proyecciones climáticas, los forzamientos tienen una gran importancia, en particular se están usando con distintos escenarios sobre las concentraciones futuras de gases efecto invernadero de origen antropogénico. Como el área de interés de las proyecciones van de lo mundial a lo regional y a lo local, se acorta la escala de tiempo de interés y la amplitud de la variabilidad vinculada al tiempo se incrementa en relación a la señal del cambio climático a largo plazo. Esto dificulta aún más la detección de la señal de cambio climático en escalas menores.

Como resultado de las detalladas formulaciones de los modelos de circulación general atmósfera-océano, las simulaciones en el clima presente se han evaluado y presentan una muy buena aproximación a la realidad meteorológica en cuanto a las variables de presión del nivel del mar y temperatura de la superficie, pero existen deficiencias, especialmente en lo concerniente a las precipitaciones tropicales. Aun cuando se mantienen deficiencias significativas en la simulación de nubes, algunos modelos han mostrado mejoras en la simulación de ciertos regímenes de nubes como los estratocumulus de origen marino. La simulación de fenómenos extremos es aceptable, en especial la temperatura extrema, pero, en sentido general, los modelos simulan muy poco la precipitación en sus casos más extremos. La simulación de ciclones tropicales ha mejorado. La frecuencia y distribución de ciclones tropicales se pueden simular con éxito. Se han logrado simulaciones mejoradas para la

estructura de masa de agua, la circulación de retorno longitudinal, y la transferencia de calor del océano. Sin embargo, hay modelos sesgados a la hora de hacer la simulación del océano Antártico, mientras que hay cierto nivel de incertidumbre en la incorporación del modelo de calor oceánico durante los cambios climáticos (IPCC, 2007). Los modelos simulan modos dominantes de variabilidad climática extratropical que se parecen a los observados (NAM/SAM, PNA, ODP) pero ellos todavía tienen problemas para representar algunos aspectos. Algunos modelos pueden simular ahora aspectos importantes de ENSO, mientras la simulación de la Oscilación Madden-Julian es aún, en general, poco satisfactoria.

Con los modelos de circulación general atmósfera-océano se hacen también simulación de variaciones climáticas pasadas. Independientemente de cualquier atribución que se haga a estos cambios, la habilidad de los modelos climáticos para proporcionar una explicación físicamente consecuente de variaciones climáticas observadas en las diferentes escalas de tiempo, brinda confianza en que los modelos están captando muchos procesos importantes para la evolución de clima del siglo XXI. Los últimos adelantos incluyen el éxito a la hora de crear modelos de cambios observados con un abanico más amplio de variables climáticas durante el siglo XX, por ejemplo, temperaturas superficiales y extremas a escala continental, dimensión del hielo marino, tendencias del contenido oceánico de calor, y precipitación en la tierra. También se ha progresado en la habilidad de crear modelos de muchos de los rasgos generales del pasado, de diferentes estados climáticos como el Holoceno medio. A partir de las observaciones se han podido prever los modelos climáticos anteriores, así como el aumento de la temperatura mundial debido al incremento de los gases de efecto invernadero, lo que refuerza la confianza en las proyecciones climáticas a corto plazo y para comprender los cambios climáticos previstos (IPCC, 2007).

Se han producido cambios en varios aspectos del sistema climático que han venido modificando el clima de la Tierra. Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004 (Figura 3). De estos gases de origen antropogénico, el dióxido de carbono es el más importante por el aumento anual en sus emisiones, del orden del 80%.



Fuente: IPCC

Figura 3. a) Emisiones anuales mundiales de GEI antropógenos entre 1970 y 2004. b) Parte proporcional que representan diferentes GEI antropógenos respecto de las emisiones totales en 2004, en términos de CO₂ equivalente. c) Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropógenos en 2004, en términos de CO₂ equivalente. (En el sector silvicultura se incluye la deforestación). Fuente: IPCC, 2007.

El aumento de las emisiones antropogénicas del dióxido de carbono se reflejan también en un incremento en las concentraciones atmosféricas de este gas, con un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm¹ para alcanzar una concentración de 379 ppm en el 2005, con una tasa anual de incremento de aproximadamente 1.9 ppm al año. Tales cambios originan un forzamiento radiativo en el balance energético y por ende en la respuesta del clima. Los agentes del forzamiento pueden variar considerablemente en cuanto a magnitud de forzamiento, así como en sus características espaciales y temporales, el efecto neto medio mundial de las actividades humanas desde 1750 ha resultado en un calentamiento global (IPCC, 2007).

Los modelos de circulación general atmósfera-océano no solo hacen simulación el clima pasado y el actual sino que con ellos se pueden hacer proyecciones de la influencia antropogénica en el clima futuro. Estas proyecciones se realizan con distintos escenarios de emisiones que proporcionan estimaciones de todos los gases de efecto invernadero a largo plazo. Estos escenarios son usados como agentes de forzamiento radiativo en las corridas de los modelos para tiempos futuros con el fin de construir los probables cambios del clima venidero.

¹ ppm (partes por millón) es la relación del número de moléculas de gas de efecto invernadero con el número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo, 300 ppm quiere decir 300 moléculas de gas de efecto invernadero por un millón de moléculas de aire seco.

De estas modelaciones del clima futuro se espera conocer los cambios climáticos de la Tierra en los próximos años de acuerdo a las posibles emisiones de gases efecto invernadero y su influencia en el clima que se manifiestan en cambios en los patrones climáticos modificarán las condiciones meteorológicas, la cobertura vegetal, la oferta del recurso hídrico, los pisos térmicos, el nivel del mar, los vectores de animales que producen algunas enfermedades, la oferta agrícola y pecuaria, entre los más impactantes en la vida humana. Esta información es el principal recurso para tomar medidas de adaptabilidad con el fin de responder adecuadamente a los posibles cambios futuros.

Según lo expuesto anteriormente, un escenario de cambio climático regional, el cual se obtiene a partir de una modelación dinámica o estadística, es un conjunto de valores probables de las variables climáticas de una región, que dependen de un forzamiento sobre las mismas. En este caso, se refiere al efecto que tiene el factor antropogénico sobre ellas. Al final, todo se reduce a hallar las diferencias entre el clima obtenido de esos casos hipotéticos denominados escenarios, y el clima actual. La generación de escenarios de cambio climático regionales y locales parten de los resultados de modelos climáticos globales que instituciones con el Instituto Hadley, (Modelo japonés, ERA, ECHAM) ha puesto al público para que los interesados realicen sus propios análisis.

Se debe realizar un escalamiento a nivel regional, por lo general, esto se hace utilizando modelos dinámicos que tienen en cuenta la topografía, la cobertura vegetal y los procesos atmosféricos de la región a modelar. Un ejemplo de estos modelos es el PRECIS, del Instituto Hadley, al cual se le deben ingresar los datos anteriores acompañados de condiciones climáticas de base de las cuales se partirá para los cálculos posteriores. Cuando se usa PRECIS se suelen obtener los datos de frontera del modelo AGCM ECHAM4, utilizando como línea base datos de 1970 a 2000. Es recomendable comparar estos resultados con los resultados de otros modelos, por ejemplo, datos de reanálisis del ERA 40 o del Climate Research Unit (CRU), a la misma resolución espacial preferiblemente.

Cuando ya se tienen resultados de varios modelos es importante determinar el grado de reproducibilidad que cada uno de ellos tiene con respecto a cada una de las variables meteorológicas de interés, las cuales suelen ser temperatura superficial y precipitación, así se podrá elegir cuál modelo es el más adecuado para cada una de estas variable y qué valores de error deberán ser tenidos en cuenta.

Al tomar el tema de cambio climático se deben tener en cuenta dos aspectos fundamentales que van unidos y que se desarrollan en paralelo: los escenarios de emisiones y los modelos de cambio climático. En el presente capítulo se detalla cada uno de ellos.

2.1. Escenarios de Emisiones de CO₂ (SRES) y Otros Escenarios (Magicc).

El grupo III de expertos del IPCC (IPCC, 2000) dio a conocer los escenarios de emisiones de CO₂ que son la base para los actuales estudios de cambio climático, y los denominó escenarios SRES, debido a que para establecer las condiciones climáticas del futuro se acude a la elaboración de escenarios de cambio climático. Así, los modelos climáticos se han utilizado de acuerdo con las directrices dadas por el IPCC en el documento AR4 (IPCC, 2007) y han sido ejecutados teniendo en cuenta las posibles situaciones que se podrían presentar en el futuro de acuerdo con las cuatro familias básicas de escenarios de emisiones de gases efecto invernadero determinadas por las posibles futuras realidades en cuanto a carácter demográfico, económico, uso de energía, sostenibilidad al finalizar el presente siglo; todas ellas con el mismo grado de incertidumbre de ocurrencia, caracterizadas así:

1. Familia **A** = economía básicamente no influenciada por la sostenibilidad, es decir, por actividades antropogénicas alejadas de la filosofía de cuidado del medio ambiente y restricción en las emisiones de contaminantes al aire y al agua.
2. Familia **B** = economía que apunta a la sostenibilidad del medio ambiente
3. Familia **1** = La población del mundo disminuye después de un máximo en 2050
4. Familia **2** = La población del mundo continúa creciendo (en A2 más rápido que en B2)

Se tiene en cuenta el tipo de combustible predominante para definir escenarios con variaciones en este sentido así:

1. T = Combustibles renovables.
2. B = Combustibles basados en mezclas.
3. FI = Combustibles fósiles.

En la Tabla 1 se presenta las características de cada uno de los escenarios definidos por el IPCC:

Tabla 1. Escenarios SRES

Característica	B1	A1T	B2	A1B	A2	A1FI
Población máxima 2050	x	x		x		x
Crecimiento demográfico constante			x		x	
Economía regionalmente orientada			x		x	
Servicio global e información de la Economía		x		x		x
Desarrollo rápido y convergente	x	x		x		x
Desarrollo lento, regional y fragmentado			x		x	
Énfasis en la sustentabilidad	x		x			

Energía basada en hidrocarburos					X
Energía mixta			X	X	X
Energía basada en combustibles renovables	X	X			

Fuente: (IPCC, 2007)

Escenarios Magicc/Scengen

El Magicc/Scengen es un modelo que acopla ciclos de gases y clima partiendo de los modelos de circulación general utilizados por el IPCC para el AR4 (IPCC, 2007) y tomando escenarios SRES de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Permite generar nuevos escenarios de emisiones de GEI a consideración del especialista y seleccionar un área de estudio a una resolución temporal a nivel mensual, estacional o anual. Adicionalmente considera dos escenarios de estabilización de emisiones de CO₂ de las familias WRB y NBF que surgen de las posibles políticas que los países tomen respecto al control o no de las emisiones de CO₂.

El Magicc/Scengen se basa en el método escalonado de patrones que consiste en suponer que los patrones de cambio climático futuro permanecen similares independientemente de la magnitud total (media global) del cambio. Es decir, el cambio en el patrón de las variables depende directamente del aumento en los gases efecto invernadero. Se compone de dos módulos: el primero calcula emisiones de CO₂ que traduce en incrementos en la temperatura global y el segundo que contiene una base de datos de resultados de experimentos de modelos globales acoplados que ofrecen patrones de cambio por aumento de grado en la temperatura media superficial.

2.2. Modelos Climáticos Globales

La representación matemática del comportamiento de la atmósfera se hace a partir de las ecuaciones básicas que describen el flujo de masas de aire, el equilibrio térmico, el equilibrio hidrostático, el balance energético, la continuidad del aire seco y la continuidad de la humedad, principalmente. A este conjunto de ecuaciones se le denomina Modelo. Cuando el interés es, además, representar el comportamiento atmosférico de todo el planeta, se dice que el modelo es global, y si se desea simular los patrones generales de las variables atmosféricas a través del tiempo y su respuesta ante los cambios de factores que influyen en su comportamiento, tales como la radiación o el incremento de los gases de efecto invernadero, se dice que el modelo es climático.

La realización de estos modelos requiere de técnicas de cálculo especiales para resolver el conjunto de ecuaciones antes mencionadas y para tal efecto, es necesario contar con una plataforma computacional de

características importantes. Grandes institutos de investigación en Europa, Estados Unidos, Japón y Australia han desarrollado modelos climáticos globales, los han forzado con incrementos en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera según los escenarios de emisión previstos por el IPCC o por otros escenarios de emisiones que responden a algún caso especial de estudio, y los han puesto a disposición de la comunidad científica y en especial, al IPCC, para que sea posible evaluar los probables cambios en las variables climáticas según la ocurrencia de cada escenario de emisiones.

Los modelos climáticos globales suelen ofrecer información a escalas superiores a los 2.5º, que difícilmente puede ser aplicada de manera directa a una región o lugar concreto, se hace necesario producir información más aproximada a las condiciones climáticas reales de esa región o lugar, lo cual conlleva a reducir de escala dichos resultados.

Una metodología que se ha utilizado ampliamente en los últimos años es la de regionalización estadística y dinámica (statistical downscaling y dynamical downscaling). En el primero se utilizan los datos de observaciones para ajustar las salidas del modelo a la realidad regional; en el segundo se utilizan modelos de alta resolución espacial o modelos climáticos regionales que representan procesos en mayor detalle que los modelos globales. Por ejemplo, estadísticamente se ha probado la técnica de reducción de escala por el método de los análogos para obtener escenarios regionales.

Un esquema que ilustra el concepto de la regionalización dinámica se presenta en la Figura 5 1. Los modelos climáticos regionales son una versión de la regionalización dinámica (dynamical downscaling) de los modelos globales. Un ejemplo de modelo climático regional es el PRECIS (Providing Regional Climate Scenarios for Impacts Studies) que utiliza como entrada los datos de un modelo global (resolución espacial de 150x150 kilómetros, por ejemplo) para generar información más detallada, considerando el detalle (en grilla de 25x25 kilómetros) de la topografía y el uso del suelo. PRECIS ha sido utilizado para estimar futuros climas a partir de diferentes escenarios posibles de emisiones para los años 2070 y 2100.

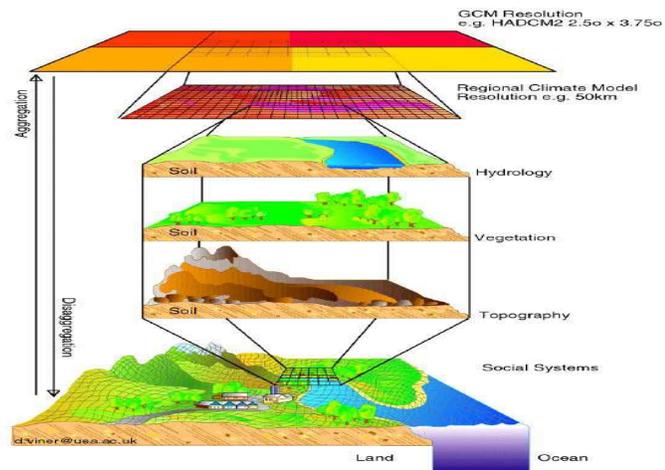


Figura 5. Esquema de uso de GCMs en RCMs

Fuente: Viner, 2000

En España, la Agencia Estatal de Meteorología, ha realizado escenarios regionales usando modelos dinámicos (HadAM3, MAGICC-SCENGEN, CGCM2, PRUDENCE, Estadísticos) cuyos resultados muestran aumentos en la temperatura media anual con mayor intensidad en el interior que en la costa, así como a mayor altura (AEMET, 2009).

3. ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES

La generación de escenarios regionales y locales se puede hacer utilizando modelos dinámicos que simulen el comportamiento de la atmósfera a través de las ecuaciones de la física a la cual responden o modelos estadísticos que se basan en registros reales de las variables meteorológicas expresando en funciones de distribución de probabilidad el comportamiento histórico de las variables meteorológicas. Se tiene también que los resultados de modelos dinámicos pueden ser refinados con técnicas estadísticas, es decir, son métodos híbridos para modelar el clima regional presente y futuro. Las proyecciones a escala regional y los escenarios climáticos regionales se derivan de los modelos globales mediante procedimientos de tipo fisicodinámico, estadístico, combinando las dos técnicas anteriores y, según Wilby & Dawson 2004, mediante inferencias subjetivas (Amador, et al, 2009). El fin es obtener una mayor resolución de la información a partir de reducción de la escala espacial.

3.1. METODOLOGIA GENERAL PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO REGIONALES Y LOCALES

El método más conocido para la generación de escenarios de cambio climático regionales y locales se denomina Top Down y consiste en combinar salidas de modelos globales con datos observados (estadísticas) o modelos globales con modelos de regionalización por medio de anidación. Este método es necesario para adaptar las salidas de los modelos globales a las características regionales, como la representación de la orografía. Sirve para adaptar los resultados globales a modelos de impacto regionales.

La regionalización estadística suele presentar mucha dispersión según los predictores y los métodos utilizados. Métodos Z5T8_P, Z5, Z0. Los predictores son campos de los modelos globales como presión, temperatura a 850 MB, geopotencial, viento en varios niveles, etc. Las parametrizaciones afectan tanto al principio como al final del resultado siendo las condiciones iniciales las que influyen más al principio y los escenarios de emisiones tomados los que influyen más al final.

Una escala o factor de reducción es la relación numérica existente entre el tamaño original de la pieza o modelo a reproducir y el tamaño final del modelo reproducido. Los modelos globales proveen información de escenarios

de cambio climático a una resolución entre 300 km y 150 km que suele ser muy general y no ofrece el grado de información que requieren los estudios a nivel regional o local. Con el fin de generar los datos que cubran esta necesidad, se procede a realizar una reducción de escala.

La reducción de escala espacial a partir de técnicas estadísticas se basa en El Modelo Estadístico de Reducción de Escala Espacial (SDSM, por sus siglas en inglés). Este método es fácil de usar, requiere poca infraestructura de cómputo y aporta gran cantidad de información (Wilby et al., 2002; Pacheco, 2007), sin embargo, no reproduce la física atmosférica ni la causalidad de unas variables climáticas con respecto a otras, ni la interacción suelo-atmósfera. Las técnicas estadísticas de ajuste de escala usan las salidas de los Modelos Atmosféricos de Circulación General Acoplados (MACGA) y permiten la construcción de escenarios climáticos regionales utilizando información estadística o de relación derivada de series de tiempo históricas. Los esquemas de ajuste de escala estadístico se basan en relaciones entre los predictores de gran escala derivados de los MACGA (temperatura, viento y precipitación, p.e.) y los predictantes regionales o locales. Estos métodos difieren principalmente en la forma de calcular la función matemática de transferencia y en el proceso del ajuste estadístico (Amador, et al, 2009).

En resumen, el downscaling dinámico, o regionalización dinámica, utiliza modelos regionales del clima con una resolución de unos 25km, definidos sobre una región limitada, acoplados con los modelos globales que proporcionan las condiciones de contorno para las simulaciones a mayor resolución y el downscaling estadístico, o regionalización estadística, utiliza modelos empíricos para relacionar estadísticamente las predicciones globales de los modelos globales con características climáticas locales conocidas (puntos de observación).

Los modelos dinámicos más utilizados para mejorar la resolución espacial de los resultados de los modelos globales del clima son WRF (Weather Research and Forecasting model), PRECIS(Providing REgional Climates for Impacts Studies). Es posible encontrar resultados de Modelos Climáticos Regionales que ofrecen información a 50 Km y a 25 km, generalmente de Europa y Estados Unidos, entre los cuales se encuentran: KNMI-RACMO2 (Royal Netherlands Meteorological Institute), CNRM-ARPEGE/IFS y CNRM-RM4.5 (Météo France/Centre National de Recherches Météorologiques), DMI-HIRHAM y METNO-HIRHAM (Danish Meteorological Institute), ETHZ-CHRM y ETHZ-CLM (Swiss Federal Institute of Technology), GKSS- CLM (GKSS Forschungszentrum Geesthacht, Germany), HC- HadRM3H (UK Met Office, Hadley Centre), ICTP- RegCM, MPI-REMO (Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany), SMHI-RCAO y SMHI-RCA3 (Swedish Meteorological and Hydrological Institute), UCM-PROMES (Universidad Complutense de Madrid), C4I-RCA3 (Community Climate Change Consortium for Ireland), CHMI-ALADIN (Czech Hydrometeorological Institute),

Los modelos estadísticos requieren series completas de normales climatológicas que pueden ser tomadas de observaciones reales o de bases de datos interpoladas a partir de observaciones reales como lo son: E-OBS (EU-

FP6 project ENSEMBLES), NCEP/NCAR reanalysis (National Oceanic and Atmospheric Administration), ERA40 reanalysis (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), CRU (University of East Anglia).

Tanto las regionalizaciones realizadas con técnicas dinámicas como las logradas con técnicas estadísticas, cuentan ventajas e inconvenientes. Los modelos estadísticos son computacionalmente menos costosos que los modelos dinámicos y permiten llegar a calibrar y proyectar localmente las salidas de los modelos globales del clima, a partir de una serie de observaciones históricas. Los métodos dinámicos son consistentes físicamente ya que se basan en las ecuaciones físicas de la dinámica. El principal argumento de crítica al downscaling estadístico es su dudosa robustez en situaciones futuras de cambio climático (San Martín, 2009).

Los métodos dinámicos utilizan modelos de área limitada con más alta resolución, denominados modelos climáticos regionales (MCR) con condiciones de frontera como función del tiempo derivadas de algún MACGA y son un subdominio de éstos, es por esto que se dice que se ejecuta un proceso de anidamiento para obtener información en escalas menores. Los MCR generalmente utilizan dominios de trabajo a nivel regional con resoluciones de 20 a 50-60 km, o de escala local, con resoluciones cercanas a los 10 km.

La forma común de utilizar los modelos dinámicos regionales es aprovechar su capacidad de simular dominios cercanos a los 5000 km x 5000 km para obtener una aproximación clima presente en una resolución mayor a la que dan los modelos globales. Es necesaria una validación del modelo comparándolo con los datos climáticos observados en varios años, se recomienda mínimo 30, y realizar los ajustes que requiera el modelo para que los resultados obtenidos al modelar el clima presente sean satisfactorios de acuerdo con los registros reales. Dinámicamente es más complejo obtener resultados a escala local debido a que se requiere gran cantidad de cómputo y a que los modelos de regionalización no pueden tener en cuenta todas las condiciones dadas en una resolución muy alta, en este caso se recomienda el uso de técnicas estadísticas.

Los resultados de los modelos globales deben ser evaluados ya que habrá modelos que simulen adecuadamente algunas variables para la zona de estudio y habrá modelos que no provean resultados satisfactorios para las mismas, por lo que será necesario hacer regionalización con condiciones de frontera diferentes para cada variable meteorológica a proyectar.

Una vez la respuesta al clima presente del modelo dinámico se considera adecuada, se incluyen los datos de escenarios de emisiones que proveen modelos globales para obtener una proyección del clima futuro de acuerdo

con los supuestos del escenario de emisiones seleccionado. Es prudente hallar la incertidumbre del resultado y tenerla en cuenta en los posteriores estudios o aplicaciones que se hagan con esta información.

La obtención de un escenario de cambio climático requiere de una serie de pasos generales que permiten obtener información con el fin de estimar los impactos de la variación del clima en un área determinada (Ruiz, 2007). Los pasos generales a seguir son:

1. Seleccionar el escenario de emisiones de CO₂ (SRES) de interés.
2. Seleccionar los resultados de uno o varios modelos, preferiblemente, de cambio climático global para el área de estudio.
3. Determinar posibles cambios en la temperatura, en la lluvia, en el nivel del mar, y otros, calculando el grado de incertidumbre de los cambios encontrados.
4. Seleccionar el método para realizar la regionalización deseada (dinámico, estadístico, híbrido).

Para realizar escenarios regionales o locales de cambio climático dinámicamente:

5. Seleccionar el modelo dinámico regional a utilizar, o varios, preferiblemente.
6. Evaluar la capacidad que tiene cada modelo dinámico seleccionado para representar el clima presente y calcular la incertidumbre con que se representa el clima actual.
7. Incluir como condiciones de frontera en los modelos regionales de cambio climático (RCM), los valores encontrados con los modelos climáticos globales. Incluir la información de topografía, uso del suelo y cuerpos de agua para la región a modelar.
8. Cuantificar la incertidumbre de los resultados obtenidos con el modelo regional y presentarla con el resultado final de los modelos utilizados.
9. Aplicar modelos de impacto que ofrecen información acerca de oferta hídrica que puede ser extrapolada a inundaciones, sequías, escasés de alimentos.

Para realizar escenarios regionales o locales de cambio climático estadísticamente:

5. Seleccionar la técnica estadística a utilizar dependiendo de la variable atmosférica de referencia.
6. Seleccionar los puntos de observación suficientes que cubran toda la región a proyectar. Se deben asegurar series de 30 años mínimo con buena calidad de los datos y homogeneidad en las series.

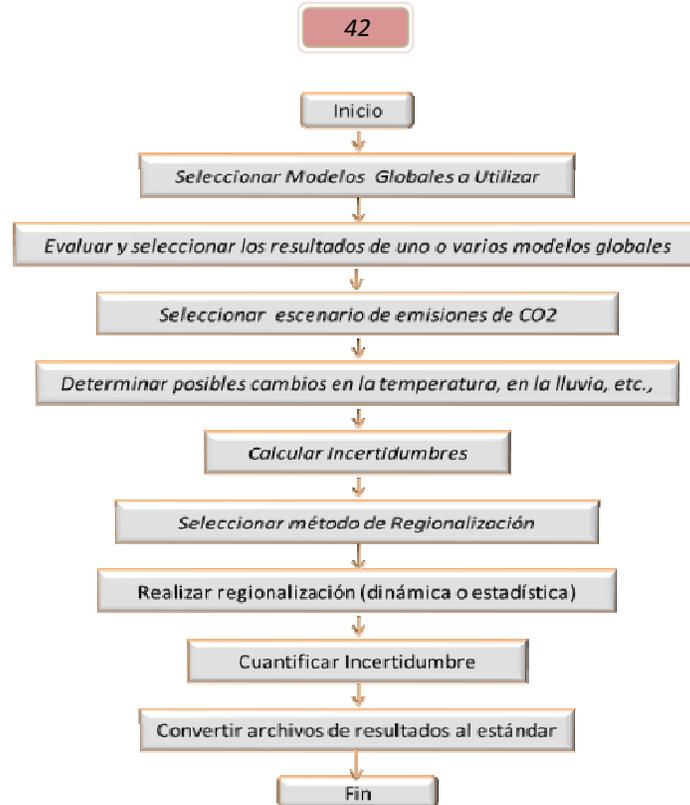
7. *Incluir como condiciones de frontera en los modelos regionales de cambio climático (RCM), los valores encontrados con los modelos climáticos globales.*
8. *Cuantificar la incertidumbre de los resultados obtenidos con la regionalización estadística y presentarla con el resultado final de los modelos utilizados.*
9. *Aplicar modelos de impacto que ofrecen información acerca de oferta hídrica que puede ser extrapolada a inundaciones, sequías, escasés de alimentos.*

Para realizar escenarios regionales o locales de cambio climático híbridamente:

Las técnicas híbridas se utilizan para lograr escenarios locales principalmente. Inicialmente se utilizan modelos dinámicos para obtener el comportamiento atmosférico futuro a escala regional, posteriormente, la escala local se calcula a partir de técnicas estadísticas llevando los resultados de la región obtenidos dinámicamente.

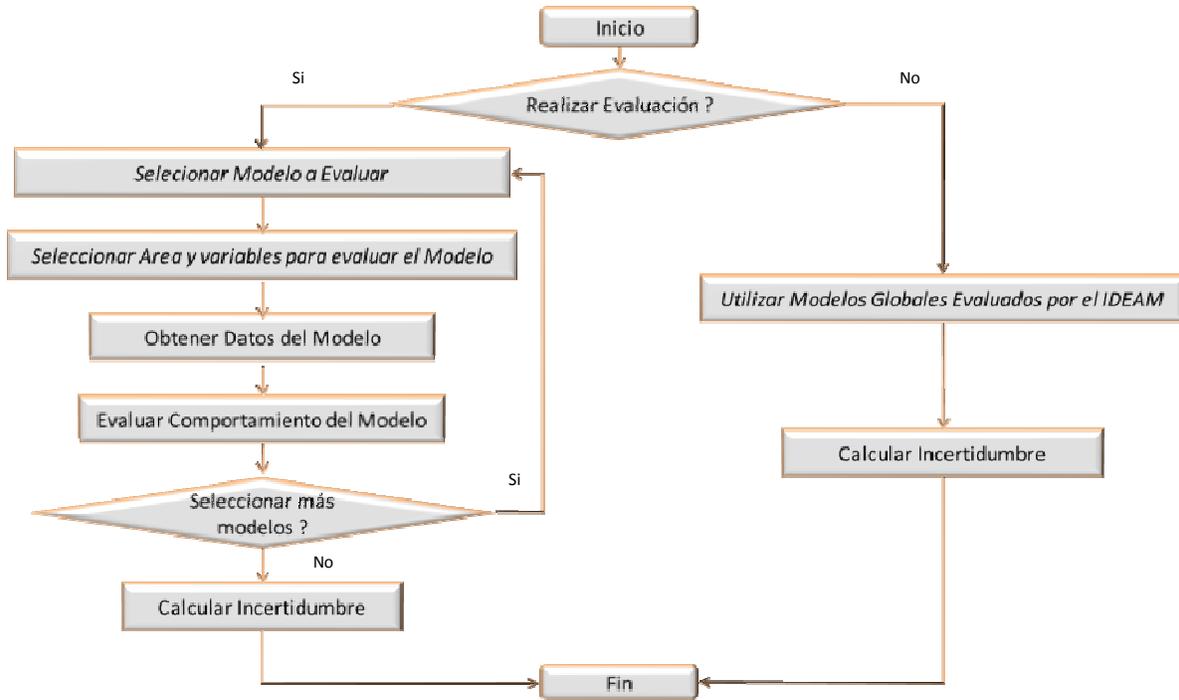
5. *Seleccionar el modelo dinámico regional a utilizar, o varios, preferiblemente.*
6. *Evaluar la capacidad que tiene cada modelo dinámico seleccionado para representar el clima presente y calcular la incertidumbre con que se representa el clima actual.*
7. *Incluir como condiciones de frontera en los modelos regionales de cambio climático (RCM), los valores encontrados con los modelos climáticos globales. Incluir la información de topografía, uso del suelo y cuerpos de agua para la región a modelar.*
8. *Cuantificar la incertidumbre de los resultados obtenidos con el modelo regional y presentarla con el resultado final de los modelos utilizados.*
9. *Seleccionar la técnica estadística a utilizar dependiendo de la variable atmosférica de referencia.*
10. *Seleccionar los puntos de observación suficientes que cubran toda el área a proyectar. Se deben asegurar series de 30 años mínimo con buena calidad de los datos y homogeneidad en las series.*
11. *Utilizar como referencia del clima futuro los valores encontrados en el paso 8 con los modelos climáticos regionales utilizados.*
12. *Cuantificar la incertidumbre de los resultados obtenidos en la técnica estadística, adicionarla y presentarla con el resultado final de los modelos utilizados.*
13. *Aplicar modelos de impacto que ofrecen información acerca de oferta hídrica que puede ser extrapolada a inundaciones, sequías, escasés de alimentos.*

En general, el procedimiento a seguir es el siguiente:

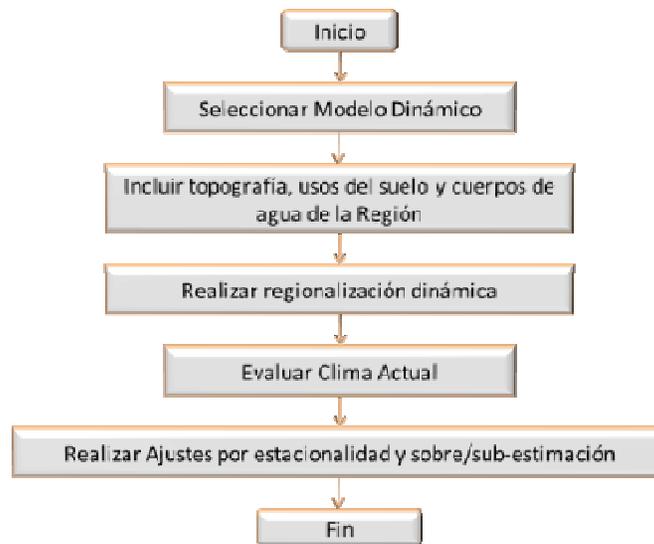


Antes de realizar procesos de regionalización es importante conocer el comportamiento de los modelos globales para saber si se requiere regionalizar. Este es el proceso de validación o verificación del modelo global. Si la información que viene de los modelos globales no tiene acuerdo con respecto a una variable, se recomienda no hacer regionalización con los resultados de estos modelos.

La evaluación de modelos globales es un aspecto muy importante que demanda tiempo y recursos. Dependiendo del estudio, es factible que se desee evaluar cómo un modelo global describe una u otra variable meteorológica. El IDEAM ha trabajado en la evaluación de modelos globales y presenta los resultados obtenidos para varias variables según criterios específicos de estacionalidad, comportamiento medio y valores extremos. Básicamente este punto de evaluación puede ser ejecutado así:



La regionalización de escenarios usando modelos dinámicos se resume en el siguiente esquema:



La regionalización de escenarios haciendo uso de técnicas estadísticas abarca los siguientes pasos generales:



Existen métodos lineales y no lineales para hallar proyecciones locales y regionales de variables meteorológicas a partir de resultados de modelos globales de cambio climático. Los más utilizados son los métodos lineales debido a que describen mejor el comportamiento de las variables atmosféricas.

Los métodos lineales de regionalización recomendados en función de si la relación existente entre la variable predictando y las variables predictoras es directa o no, son:

-Regresión lineal múltiple – modelo no condicional, donde existe una relación directa entre predictores y predictando.

- Regresión lineal múltiple – modelo condicional, tiene en cuenta dependencia de las variables estudiadas con respecto a una variable intermedia como la probabilidad de ocurrencia.

Los parámetros se pueden obtener por la técnica de mínimos cuadrados (preferiblemente) o por la técnica MSAE (Minimum sum of absolute errors) en el caso de que no se cumplan las condiciones requeridas para la aplicación de mínimos cuadrados (Narula, Wellington, 2002).

Las técnicas estadísticas que suelen ser usadas para obtener escenarios a escala global o regional son regresión lineal utilizando Componentes Principales, regresión lineal con valores de rejilla en puntos cercanos, regresión lineal condicionada a tipos de tiempo, y distintas variantes del método de análogos, donde se utilizan como predictores los resultados de los modelos globales y los predictandos serán temperatura superficial, precipitación, humedad relativa, etc. Cada método tiene su cálculo de error que puede ser asociado a una incertidumbre de los resultados, además, si se utilizan varios de ellos, se puede obtener un conjunto de predicciones para cuantificar la incertidumbre introducida por lo modelos globales. Es posible utilizar métodos estadísticos más avanzados como redes neuronales artificiales, las cuales requieren un conjunto de datos de calidad para su entrenamiento.

Los métodos híbridos para mejorar la resolución espacial de los modelos globales combinan la potencialidad de los modelos dinámicos y las técnicas procesos estadísticos. Lo usual es que se realice una regionalización dinámica por medio de modelos numéricos para obtener resoluciones entre 10 y 25 km, y se logran escalas locales, con resoluciones mucho más finas, utilizando la información climatológica procedente de observaciones de fenómenos meteorológicos. A las cuales se les puede asociar la orografía, la hidrología y el uso del suelo entre otros, a una mejor resolución y determinar relaciones entre ellos y los patrones meteorológicos de la zona en la cual se encuentran ubicadas las estaciones de toma de datos.

La regionalización estadística hace uso de las relaciones encontradas entre el predictor observado y los campos del predictando, los cuales pueden ser obtenidos de modelos dinámicos, a partir de largas series de datos. Debido a que los modelos dinámicos suelen tener algún grado de error, las predicciones encontradas heredan sistemáticamente este error, por lo tanto, es importante calcular los valores de error que el modelo dinámico tiene asociado. Estos cálculos son conocidos como Estadísticas de la Salida Modelada, o MOS (Model Output Statistics) y es ampliamente aplicada en predicciones numéricas del tiempo para un punto dado (Feddersen, Andersen, 2004).

Una vez se tienen las proyecciones de cambio climático regionales o locales, se debe pasar a los estudios de vulnerabilidad, definir planes de adaptación y formular políticas de mitigación según los efectos esperados ante los posibles cambios del clima.

3.2. DATOS DISPONIBLES DE MODELOS GLOBALES

El IPCC ofrece los datos de climatología obtenidos aplicando varios modelos climáticos globales (http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=ar4_gcm). Cada modelo ofrece información para validar el clima pasado o para validar el clima presente o para generar proyecciones de cambio climático. Las variables climáticas disponibles dependen de cada modelo. En la siguientes tablas se muestra un resumen de los datos de modelos aplicados por el IPCC y que se pueden obtener a través de su página WEB.

Tabla 2. Abreviaturas de Variables Modeladas Globalmente

Abreviatura	Significado
Huss	<i>Humedad específica</i>
Huss change	<i>Cambio en la humedad específica</i>
Pr	<i>Precipitación</i>
Pr change	<i>Cambio en la precipitación</i>
Psl	<i>Presión a Nivel del mar</i>
Psl Change	<i>Cambio en la Presión a Nivel del mar</i>
Rsds	<i>Flujo de onda corta entrante en superficie</i>
Rsds Change	<i>Cambio en el flujo de onda corta entrante en superficie</i>
Tas	<i>Temperatura del aire</i>
Tas change	<i>Cambio en la Temperatura del aire</i>
Tas max	<i>Temperatura máxima diaria</i>
Tas max change	<i>Cambio en la Temperatura máxima diaria</i>
Tas min	<i>Temperatura mínima diaria</i>
Tas max change	<i>Cambio en la Temperatura mínima diaria</i>
Uas	<i>Viento del Este</i>
Uas change	<i>Cambio en el viento del Este.</i>
Vas	<i>Viento del Norte</i>
Vas change	<i>Cambio en el viento del Norte.</i>

Tabla 3. Abreviaturas de Institutos Desarrolladores de Modelos Globales

Abreviatura	Significado	País
BCC	<i>Beijing Climate Center</i>	China
BCCR	<i>Bjerknes Centre for Climate Research</i>	Noruega
CCCMA	<i>Canadian Centre for Climate Modelling & Analysis</i>	Canadá
CNRM	<i>Centre National de Recherches Météorologiques</i>	Francia
CONS	<i>Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of KMA, and Model and Data group.</i>	Alemania/ Corea
CSIRO	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation/ Atmospheric Research</i>	Australia
GFDL	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - Geophysical Fluid Dynamics Laboratory</i>	USA
INM	<i>Institute for Numerical Mathematics</i>	Rusia
IPSL	<i>Institut Pierre Simon Laplace</i>	Francia
LASG	<i>Institute of Atmospheric Physics Chinese Academy of Sciences / Institute of Atmospheric Physics</i>	China
MPIM	<i>Max Planck Institute for Meteorology</i>	Alemania
MRI	<i>Meteorological Research Institute</i>	Japón
NASA-GISS	<i>National Aeronautics and Space Administration / Goddard Institute for Space Studies</i>	USA
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>	USA
NIES	<i>Center for Climate System Research (The University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC)</i>	Japón
UKMO	<i>Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office</i>	Reino Unido

Tabla 4. Abreviaturas de Escenarios Modelados Globalmente

Abreviatura	Significado
1PTO2X	<i>Escenario que parte de las concentraciones de CO2 de la era pre-industrial y supone su incremento en 1% anual hasta duplicarse, luego permanece constante.</i>
1PTO4X	<i>Escenario que parte de las concentraciones de CO2 de la era pre-industrial y supone su incremento en 1% anual hasta cuadruplicarse, luego permanece constante.</i>
20C3M	<i>Escenario que supone que las tendencias de emisiones dadas en el siglo XX continúan igual para los próximos años.</i>
COMMIT	<i>Escenario ideal en el cual los niveles de gases efecto invernadero continúan constantes según los niveles del año 2000.</i>
PICTL	<i>Escenario que supone que los niveles de gases son los mismos a los de la era pre-industrial.</i>
SRA1B	<i>Escenario de emisiones SRES A1B</i>
SRA2	<i>Escenario de emisiones SRES A2</i>
SRB1	<i>Escenario de emisiones SRES B1</i>

Tabla 5. Datos Disponibles en el IPCC de Modelos Globales

Modelo	Escenario	Variable	Rango
BCC:CM1 (BCCM1)	1PTO2X	Pr Psl Tas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099
	1PTO4X	Pr Psl Tas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRB1	Pr Psl Tas	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
BCCR:BCM2 (BCCM2)	1PTO2X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Tas max, Tas min Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRA1B SRB1	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060

		Tas Tas max Tas min Uas Vas	o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA2	Huss, Huss change, Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
CCCMA:CGCM3_1-T63 (CGHR)	SRA1B SRB1	Huss, Huss change, Psl, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
CCCMA:CGCM3_1-T47 (CGMR)	1PTO2X 1PTO4X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	SRA1B	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds Tas Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
CNRM:CM3	1PTO2X 1PTO4X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change	o001-0030 o010-0039 o011-0030

(CNM3)		<i>Rlds, Rlds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	<i>o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	20C3M	<i>Huss, Pr, Psl, Rlds, Tas, Uas, Vas</i>	<i>1901-1930 1931-1960 1961-1990</i>
	COMMIT SRA2	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rlds, Rlds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099</i>
	PICTL	<i>Huss Pr Psl Rlds Tas Uas Vas</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	SRA1B	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rlds, Rlds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199</i>
	SRB1	<i>Huss, Huss change, Psl, Psl Change, Rlds, Rlds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099</i>
CSIRO:MK3 (CSMK3)	1PTO2X	<i>Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rlds, Rlds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	20C3M	<i>Pr, Psl, Rlds, Tas,</i>	<i>1901-1930</i>

		Tas max, Tas min	1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRB1	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Pr Psl Rsds Tas Tas max Tas min	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA1B	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
	SRA2	Pr, Pr change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
CONS:ECHO_G (CSMK3)	1PTO2X 1PTO4X	Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Pr, Psl, Rsds,Tas, Uas , Vas min	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRA2	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas,Uas change Vas,Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099

	<i>PICTL</i>	<i>Pr</i> <i>Psl</i> <i>Rsds</i> <i>Tas</i> <i>Uas</i> <i>Vas</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i> <i>o061-0090</i> <i>o070-0099</i> <i>o080-0099</i>
	<i>SRA1B</i>	<i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change,</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039</i> <i>2011 – 2030</i> <i>2040 – 2069</i> <i>2046 – 2065</i> <i>2070 – 2099</i> <i>2080 – 2099</i> <i>2180 - 2199</i>
LASGF:FGOALS_G1_0 (FGOALS)	<i>1PTO2X</i>	<i>Huss, Huss change</i> <i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i> <i>o061-0090</i> <i>o070-0099</i> <i>o080-0099</i>
	<i>20C3M</i>	<i>Huss, Pr,</i> <i>Psl, Rsds, Tas,</i> <i>Uas, VTas min</i>	<i>1901-1930</i> <i>1931-1960</i> <i>1961-1990</i>
	<i>COMMIT</i> <i>SRA1B</i> <i>SRB1</i>	<i>Huss, Huss change</i> <i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change,</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039</i> <i>2011 – 2030</i> <i>2040 – 2069</i> <i>2046 – 2065</i> <i>2070 – 2099</i> <i>2080 – 2099</i>
	<i>PICTL</i>	<i>Huss</i> <i>Pr</i> <i>Psl</i> <i>Rsds</i> <i>Tas</i> <i>Uas</i> <i>Vas</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i> <i>o061-0090</i> <i>o070-0099</i> <i>o080-0099</i> <i>o180-0199</i>
GFDL:CM2 (GFCM20)	<i>1PTO2X</i> <i>1PTO4X</i>	<i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i>

			o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRA1B SRA2 SRB1	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas max, Uas change Vas min, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Pr Psl Rsds Tas Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
GFDL:CM2_1 (GFCM21)	1PTO2X 1PTO4X	Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRA1B SRA2	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas max, Uas change Vas min, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Pr Psl Rsds Tas Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099

			o080-0099 o180-0199
	SRB1	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas max, Uas change Vas min, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
NASA:GISS-AOM (GIAOM)	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Tas Max, T Min Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	SRA1B SRB1	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas max, Uas change Vas min, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds Tas Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
NASA:GISS-EH (GIEH)	1PTO2X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	SRA1B	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099

	<i>PICTL</i>	<i>Huss Pr Psl Rsds Tas Uas Vas</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
NASA:GISS-ER (GIAER)	<i>1PTO2X</i>	<i>Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099</i>
	<i>1PTO4X</i>	<i>Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	<i>20C3M</i>	<i>Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas</i>	<i>1901-1930 1931-1960 1961-1990</i>
	<i>COMMIT SRA2</i>	<i>Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	<i>2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099</i>
	<i>PICTL</i>	<i>Huss Pr Psl Rsds Tas Uas Vas</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	<i>SRA1B</i>	<i>Huss, Huss change Psl, Psl Change,</i>	<i>2010 – 2039 2011 – 2030</i>

		<i>Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
	<i>SRB1</i>	<i>Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
UKMO: HADCM3 (GIAER)	<i>20C3M</i>	<i>Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas</i>	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	<i>COMMIT</i>	<i>Huss Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065
	<i>PICTL</i>	<i>Pr Psl Rsds Tas Uas Vas</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	<i>SRA1B</i>	<i>Huss Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	<i>SRA2</i>	<i>Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	<i>SRB1</i>	<i>Huss Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099

		<i>Vas, Vas change</i>	2180 - 2199
UKMO:HADGEM1 (HADGEM)	1PTO2X	<i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i>
	20C3M	<i>Pr, Psl, Rsds,</i> <i>Tas, Tas max, Tas min</i> <i>Uas, Vas</i>	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	PICTL	<i>Pr</i> <i>Psl</i> <i>Rsds</i> <i>Tas</i> <i>Tas max</i> <i>Tas min</i> <i>Uas</i> <i>Vas</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i> <i>o061-0090</i> <i>o070-0099</i> <i>o080-0099</i> <i>o180-0199</i>
	SRA1B SRA2	<i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Tas max, Tas max change</i> <i>Tas min, Tas min change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	SRA2	<i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Tas max, Tas max change</i> <i>Tas min, Tas min change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065
INM:CM3 (INCM3)	1PTO2X 1PTO4X	<i>Huss, Huss change</i> <i>Pr, Pr change</i> <i>Psl, Psl Change</i> <i>Rsds, Rsds Change</i> <i>Tas, Tas change</i> <i>Tas max, Tas max change</i> <i>Tas min, Tas min change</i> <i>Uas, Uas change</i> <i>Vas, Vas change</i>	<i>o001-0030</i> <i>o010-0039</i> <i>o011-0030</i> <i>o031-0060</i> <i>o040-0069</i> <i>o046-0065</i> <i>o061-0090</i> <i>o070-0099</i> <i>o080-0099</i> <i>o180-0199</i>
	20C3M	<i>Huss, Pr, Psl, Rsds,</i> <i>Tas, Tas max, Tas min</i> <i>Uas, Vas</i>	1901-1930 1931-1960 1961-1990

	COMMIT	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds Tas Tas max Tas min Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA1B SRA2 SRB1	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
IPSL:CM4 (IPCM4)	1PTO2X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	1PTO4X	Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960

			1961-1990
	COMMIT SRA2	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds Tas Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA1B SRB1	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
NIES:MIROC3_2-HI (MIHR)	1PTO2X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Tas max, Tas min Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	SRA1B SRB1	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max Change Tas min, Tas min Change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Huss Pr Psl Rsds Tas Tas max Tas min Uas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099

		Vas	o080-0099
NIES:MIROC3_2-MED (MIMR)	1PTO2X PICTL	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	1PTO4X	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Tas, Tas change Tas max, Tas max change Tas min, Tas min change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas, Tas max, Tas min Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT SRA2	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max Change Tas min, Tas min Change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	SRA1B SRB1	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max, Tas max Change Tas min, Tas min Change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
MIPIN:ECHAM5 (MPEH5)	1PTO2X 1PTO4X	Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas Vas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099

			o080-0099 o180-0199
	20C3M	Pr, Psl, Rsds, Tas Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Vas	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	PICTL	Pr Psl Rsds Tas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA2	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas Change Vas, Vas Change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	SRA1B SRB1	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
MRI:CGCM2_3_2 (MRCGCM)	1PTO2X 1PTO4X PICTL	Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change Vas, Vas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Huss, Pr, Psl, Rsds,Tas, Uas, Vas	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	COMMIT	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change,	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069

		<i>Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change</i>	2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	<i>SRA1B SRB1</i>	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change, Vas, Vas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
	<i>SRA2</i>	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Uas, Uas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
NCAR:CCSM3 (NCCCM)	<i>1PTO2X 1PTO4X</i>	<i>Huss, Huss change Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	<i>PICTL</i>	<i>Huss, Pr, Psl, Tas,</i>	<i>o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199</i>
	<i>20C3M</i>	<i>Huss, Pr, Psl, Rsds, Tas,</i>	<i>1901-1930 1931-1960 1961-1990</i>
	<i>COMMIT</i>	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max Tas min</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099
	<i>SRA1B SRA2</i>	<i>Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change</i>	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099

La

	SRB1	Huss, Huss change, Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change Tas max Tas min	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099 2180 - 2199
NCAR:PCM (NCPCM)	1PTO2X	Pr, Pr change Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099
	1PTO4X	Psl, Psl Change Rsds, Rsds Change Tas, Tas change	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	20C3M	Pr, Psl Rsds, Tas Tas max, tas min	1901-1930 1931-1960 1961-1990
	PICTL	Pr Psl Rsds Tas	o001-0030 o010-0039 o011-0030 o031-0060 o040-0069 o046-0065 o061-0090 o070-0099 o080-0099 o180-0199
	SRA1B	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065
	SRA2	Pr, Pr change Psl, Psl Change, Rsds, Rsds Change Tas, Tas change	2010 – 2039 2011 – 2030 2040 – 2069 2046 – 2065 2070 – 2099 2080 – 2099

descripción detallada de cada uno de los modelos utilizados por el IPCC se encuentra en el link http://www-pcmdi.llnl.gov/ipcc/model_documentation/ipcc_model_documentation.php, en donde se ha publicado la documentación completa de cada modelo, se explican las condiciones de forzamiento utilizadas en los cálculos, el nombre del instituto que lo genera y se proveen los links a los datos generados por cada modelo.

Datos de modelos que han simulado otros escenarios SRES se encuentran en http://www.ipcc-data.org/cgi-bin/ddc_nav/dataset=tar_gcm. El IPCC ha liberado resultados para varias variables climáticas de los escenarios A1F, A1T, A1a, A2a, A2b, A2c, B1a, B2a, B2b que ha generado con menos modelos de los listados anteriormente, es decir, se cuenta con información global para otros escenarios que pueden ser de interés.

3.3. VALIDACIÓN DE MODELOS

Verificar, evaluar o validar un Modelo Global depende del tiempo disponible para la realización de esta actividad y de la información con que se cuente. Verificar, evaluar y validar son tres conceptos similares, pero diferentes y complementarios. Verificar es comparar con la observación, por ejemplo, si se desea verificar los resultados de una proyección a 100 años, será necesario esperar 100 años a tener los registros de las observaciones reales para poder hacer la correspondiente verificación del modelo. Evaluar es verificar qué tanto se acercan los resultados de un modelo al clima actual. Una manera de realizar esto es mediante la representación del clima pasado comparando los datos observacionales con los datos obtenidos a través del modelo. Un modelo se puede evaluar por componentes (precipitación, temperatura) o globalmente. Validar un modelo es determinar la validez de los resultados después de que ha sido verificado y evaluado positivamente con respecto al clima actual y al clima pasado, por variables (Cap 8 del AR4).

Las simulaciones regionales de cambio climático deben partir de la evaluación del comportamiento del modelo utilizado para reproducir adecuadamente las condiciones climáticas presentes. La forma más apropiada para tomar los resultados de las simulaciones realizadas como confiables es haber evaluado previamente el comportamiento del modelo con respecto al clima actual. Las salidas de las simulaciones deben ser comparadas con las observaciones reales para determinar qué variables son subvaloradas, sobreestimadas o acordes con la realidad. A partir de estas comparaciones es imprescindible realizar un proceso de ajuste de los resultados del modelo para que al tener las simulaciones finales, se pueda tener clara la manera de interpretar los datos obtenidos. En la regionalización, la disponibilidad de bases de datos regionales es un elemento de especial importancia ya que son la base para la validación de las proyecciones y evaluación del comportamiento del modelo, por lo cual, lo ideal es que los datos climáticos estén igualmente disponibles en los planos temporal y espacial a los datos obtenidos de los Modelos Atmosféricos de Circulación General Acoplados MACGA (Amador, et al, 2009). Finalmente, se debe determinar qué modelos son adecuados para qué componentes climáticas y cuáles son funcionales con todas las variables acopladas.

Al realizar regionalizaciones de modelos globales, la calidad de las mismas se observa en la precipitación y en los cambios de la temperatura, por eso se recomienda utilizar varios modelos para obtener condiciones de entorno que provean mayor información de estas variables. La precipitación es una variable adecuada para evaluar un modelo sobre tierra y la presión para evaluar a nivel del mar.

La evaluación de modelos debe involucrar, además de los valores medios, la variabilidad climática intra-anual, inter-estacional, e inter-anual. En nuestro caso, se deberá evaluar qué tanto cada modelo utilizado refleja el ciclo anual para precipitación, temperatura superficial y las demás variables climáticas que se consideren pertinentes dependiendo del tipo de estudio que se desee realizar. De igual manera, es preciso tener en cuenta la respuesta que el modelo tiene ante eventos cíclicos como el Fenómeno del Niño que afecta de manera importante las precipitaciones en el país. Es deseable, por lo tanto, en el proceso de validación de modelos incluir los siguientes aspectos:

- *Promedios anuales.*
- *Ciclo estacional.*
- *Variabilidad Interanual.*
- *Valores extremos en escala anual y escalas temporales más cortas ya que los valores extremos son el interés de los estudios de vulnerabilidad.*
- *Los AOGCM se deben evaluar por regiones. Los modelos varían por sus diferencias en el diseño y en las parametrizaciones.*
- *Evaluar escalas temporales o espaciales que involucren señales interanuales y permitan evaluar variabilidad climática.*
- *Comparar con el clima pasado y por el clima presente. Un modelo que representa mejor el clima pasado y el clima presente provee confianza en los resultados de sus proyecciones futuras.*
- *Mediante el uso de atractores de Lorenz, buscando las situaciones en las que la atmósfera está la mayor cantidad de tiempo en un estado. Los tipos de tiempo más frecuentes y cuánto tiempo se queda la atmósfera en este estado (vida media) es otro factor que se puede evaluar en el comportamiento de los modelos. Los modelos tienden a subestimar los sistemas meridionales y exagerar los zonales. Esta evaluación permite conocer el comportamiento sinóptico de los modelos.*

3.4. MÉTRICAS

Se deben definir métricas, por ejemplo, para evaluar variabilidad climática. Por medio del error cuadrático medio o la desviación estándar se puede evaluar los modelos. Utilizar el promedio de todos los modelos puede dar contrapeso entre los modelos buenos y no tan buenos.

Cuando los modelos ya han sido evaluados y pesados de acuerdo a unas métricas dadas, se pueden hacer ensamble (proyecto ENSEMBLE Kjellström et al, 2009). En este proyecto se evaluó la circulación de gran escala y regímenes de tiempo así como señales a mesoescala.

Una vez realizadas las evaluaciones de los modelos globales a utilizar, se deberá dar un grado de confianza para la regionalización en términos de espacio y tiempo. Un modelo global podrá responder adecuadamente a valores medios en una zona determinada pero podrá ser poco efectivo en encontrar señales de variabilidad climática inter-anales. Es preciso, en cada caso, informar los resultados obtenidos en dicha evaluación.

3.5. INCERTIDUMBRE

Debido a que la formulación de los modelos de circulación general atmósfera-océano se basa en un conjunto de ecuaciones diferenciales que expresan las leyes físicas, junto con una gran cantidad de observaciones, que son convertidas en variables del modelo y distribuidas espacialmente en la malla tridimensional de puntos de retícula para resolver las ecuaciones utilizando aproximaciones numéricas de diferencias finitas (Cuanta más pequeña es la retícula, será más alta la resolución espacial del modelo), se observa la existencia de los siguientes factores de error asociados con el cálculo numérico así:

Las aproximaciones tienen asociadas un error por truncamiento propio del método numérico y por el equipo de computación que se esté utilizando.

Existe un efecto relacionado con las escalas de movimiento, donde fenómenos más pequeños que la resolución de la retícula no son resueltos y que deben ser incluidos para darle la consistencia física y real al modelo.

Los modelos climáticos globales calculan sus proyecciones de acuerdo con la información climática pasada y presente. El conjunto de observaciones para inicializar todas las variables en cada punto de la retícula suele ser insuficiente; por lo general, los puntos de observación de las variables meteorológicas no se localizan en los mismos puntos de la retícula y no se tienen series históricas que cubran todo el periodo a modelar. Además las mediciones tienen una incertidumbre dado por el grado de error inherente a la medición. (Thorpe, 2005). La falta de datos climáticos en el tiempo o regiones con pocos registros de su clima, introducen incertidumbre a los

modelos globales, incertidumbre que se dispersará en todo el modelo y, dicha región, se verá especialmente afectada en cuanto a la cantidad y calidad de sus proyecciones.

La resolución utilizada por los modelos de circulación general atmósfera-océano es muy gruesa en relación con muchos de los procesos físicos que en ella se dan, como los relacionados con las nubes que no pueden ser modeladas correctamente y sus propiedades deben ser derivadas incorporando pequeños modelos que tienen en cuenta las condiciones de escala usadas, técnica conocida con el nombre de parametrización. La representación física de los sub-efectos de escala, son simplemente otros pequeños esquemas numéricos que expresan un proceso físico explícito que tiene que resolver adicionalmente el modelo circulación general, tales como los procesos relacionados con la capa límite planetaria, el hielo marino, la nubes, convección, la precipitación, los aerosoles, la mezcla de océanos, albedo de la superficie, radiación, ciclo hidrológico y la orografía entre otros muchos más. Por esta razón, los modelos de circulación general atmósfera-océano pueden simular diferentes respuestas al mismo forzamiento, debido a la forma de abordar ciertos procesos y retroalimentaciones que asume el modelo.

Según el meteorólogo español Ernesto Rodríguez Camino, Meteorólogo del Estado y Jefe del Área de Modelización y Evaluación del Clima de España, “La menor incertidumbre corresponde a un alcance de 30-50 años. Inicialmente la incertidumbre está dominada por las condiciones iniciales, mientras que para alcances superiores a 50-60 años la incertidumbre está dominada por los escenarios de emisión” (Meteored, 2009). En la siguiente figura se ilustra las posibles fuentes de incertidumbre asociadas a la predicción climática y su participación en la incertidumbre total con respecto a los años proyectados.

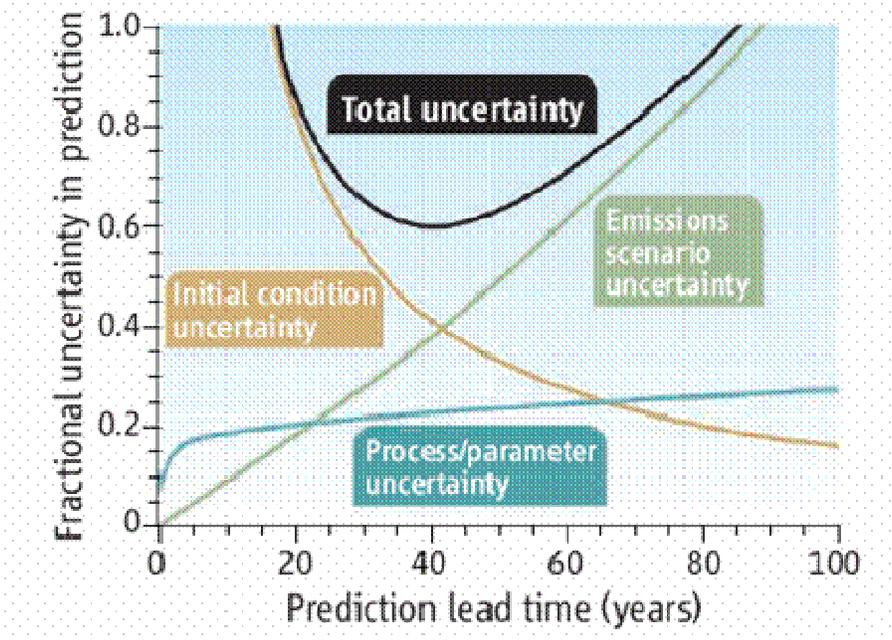


Figura 5. Contribución de las distintas fuentes de incertidumbre en función del alcance de las integraciones climáticas.

Fuente: Cox y Stephenson, 2007. (citado por Meteored, 2009)

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), teniendo en cuenta la importancia de conocer el grado de certeza de los resultados obtenidos con los modelos globales, liberó el documento “Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties”, donde expone las consideraciones que se deben tener en cuenta para tratar y cuantificar las diferentes incertidumbres que se pueden encontrar en el proceso, en donde sugiere que la incertidumbre se puede cuantificar dependiendo del tema que se esté estudiando o del concepto del experto o de la naturaleza de la información disponible ya que, dependiendo de la ciencia, los datos, indicadores y análisis son utilizados e interpretados de manera diferente.

Por un lado, la incertidumbre puede evaluarse en términos cualitativos, donde se da una idea relativa del volumen y calidad de la evidencia (IPCC, 2007) en términos descriptivos de nivel de coincidencia alto, evidencia abundante; nivel de coincidencia alto, nivel de evidencia medio; nivel de coincidencia medio, nivel de evidencia medio; etc. En la siguiente tabla se explica esta cualificación de la incertidumbre:

Tabla 1. Niveles Cualitativos de Incertidumbre

Nivel de concertación o acuerdo	Alta concertación	Alta concertación
	Evidencia limitada		Alta evidencia

↑	Baja concertación	Baja concertación
	Evidencia limitada		Alta evidencia
Cantidad de evidencia (teoría, observaciones, modelos) →			

Fuente: IPCC, 2005

Si se desea expresar la incertidumbre cuantitativamente, se puede utilizar una escala de niveles de confianza. Esto permite expresar hasta qué punto se considera que una conclusión es correcta en términos de grado de confianza. Por ejemplo: Grado de Confianza Muy Alto (mínimo 9 sobre 10); Grado de Confianza Alto (cerca de 8 sobre 10), etc. La manera de definir estos grados o niveles de confianza se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Niveles Cuantitativos de Confianza

Terminología de los niveles de confianza	Nivel de confianza en acertar
Confianza muy alta	Al menos 9 de 10 probabilidades
Confianza alta	Al menos 8 de 10 probabilidades
Confianza media	Al menos 5 de 10 probabilidades
Confianza baja	Al menos 2 de 10 probabilidades
Confianza muy baja	Al menos 1 de 10 probabilidades

Fuente: IPCC, 2005

Por último, si la incertidumbre se desea dar en términos estadísticos a partir de una serie de evidencias, se utilizan rangos de probabilidad para expresar la certeza de un suceso. Es así que la calificación de Virtualmente

Cierto se refiere a tener una probabilidad de certeza mayor al 99 %; Extremadamente Probable, entre 95% y 99. Los rangos definidos para la calificación de la incertidumbre se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Términos universales de la probabilidad de un resultado

Terminología de probabilidad	Probabilidad del resultado
<i>Prácticamente cierto</i>	<i>> 99% de probabilidad</i>
<i>Sumamente probable</i>	<i>> 95% de probabilidad</i>
<i>Muy probable</i>	<i>> 90% de probabilidad</i>
<i>Probable</i>	<i>> 66% de probabilidad</i>
<i>Más probable que improbable</i>	<i>> 50% de probabilidad</i>
<i>Tan probable como improbable</i>	<i>de 33 a 66% de probabilidad</i>
<i>Improbable</i>	<i>< 33% de probabilidad</i>
<i>Muy improbable</i>	<i>< 10% de probabilidad</i>
<i>Sumamente improbable</i>	<i>< 5% de probabilidad</i>
<i>Excepcionalmente improbable</i>	<i>< 1% de probabilidad</i>

Fuente: IPCC, 2005

Las incertidumbres varían según las variables utilizadas, la región del globo, las escalas temporales y las escalas espaciales utilizadas (Rodríguez, 2009). A escala regional y local el proceso de validación de los modelos cobra especial importancia ya que una adecuada validación reduce la incertidumbre asociada con la manera de resolver el sistema climático a partir de ecuaciones. Es por ello que se recomienda correr varios modelos para encontrar el que mejor describe las situaciones climáticas de la región de estudio. Este proceso de validación debe incluir variabilidad climática ya que fenómenos como el ENSO, o variaciones intra-anales podrían influir en la evaluación del desempeño del modelo (Ruiz, 2007). La posibilidad de utilizar varios modelos ensamblados realizando varios ensayos con condiciones de inicio similares para determinar la incertidumbre de los resultados de un escenario regional o local implica alto compromiso computacional pero es uno de los métodos más reconocidos y aceptados con este fin.

Se deduce que para la comunidad científica es en extremo relevante reducir la incertidumbre que se tiene en los resultados de las simulaciones climáticas. Por lo tanto, la realización de simulaciones multiexperimento proveerá los datos requeridos para el cálculo de las incertidumbres asociadas a los modelos.

Concluyendo, la generación de modelos regionales y locales tiene asociada una incertidumbre que es la suma de varias incertidumbres. La primera corresponde al escenario de emisiones de CO₂ seleccionado, la cual viene desde el planteamiento mismo de las posibles dinámicas económicas del globo que darían como resultado una cantidad de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera, como es el caso de los escenarios SRES, los cuales tienen una probabilidad de ocurrencia difícil de cuantificar.

La segunda incertidumbre que afecta la exactitud de los modelos es la asociada con la variabilidad interna de los mismos (tanto globales como regionales y locales). A mayor tiempo de proyección, mayor es la incertidumbre, ya que predecir el clima en varias decenas de años involucra más factores a tener en cuenta en las simulaciones, con el agravante de que no se pueden conocer todas las condiciones futuras.

Los modelos mismos tienen una incertidumbre propia que se suma a las dos anteriores. Los modelos dinámicos deben tener la capacidad de involucrar los procesos físicos que intervienen en las condiciones atmosféricas y en su relación con la biosfera, principalmente con la hidrosfera. Factores tales como la nubosidad, que es un proceso físico a pequeña escala, deben ser parametrizados, lo cual implica hacer simplificaciones de la realidad para facilitar los cálculos. La cantidad de elementos que se simplifiquen, la forma como se realice dicha parametrización y los valores que se seleccionen, tendrán influencia en el resultado e implicarán una incertidumbre que en cada caso será diferente.

Es así, como el resultado de diferentes modelos pueden diferir entre sí aunque las condiciones de inicio sean iguales ya que suelen resolver el mismo problema de diferentes maneras. Un modelo podría responder adecuadamente ante algunas condiciones iniciales para un escenario de emisiones dado, pero no mostrar resultados convincentes si las condiciones iniciales varían o si se cambia el escenario de emisiones (<http://www.boinc-ecuador.com/climateprediction/objetivos-del-experimento-climateprediction>).

Existe incertidumbre en la modelación de escenarios de cambio climático, la cual es difícil de predecir o de cuantificar, o simplemente, que los modelos actuales no las contemplan. Por ejemplo, existe una incertidumbre asociada a la dificultad de predecir el efecto de la actividad volcánica, la cual, por ser impredecible, no está involucrada en los modelos globales. Este tipo de incertidumbre no se cuantifica ni se informa.

De igual manera, las incertidumbres asociadas con la actividad solar y variación de la radiación solar que oscila cada 11 años; o la debida a los Ciclos de Milankovitch, que indican que la trayectoria del planeta alrededor del sol cambia cada 96600 años volviéndose más elíptica o redonda; o aquella por la variación en la inclinación de la tierra que hace que la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre cambie y por lo tanto la temperatura; no se han cuantificado.

Otras incertidumbres se encuentran en el desconocimiento en detalle del ciclo del carbono y la fijación del CO₂ en la atmósfera y en el planeta. Se estima que el 45% del CO₂ permanece en la atmósfera, el 25% océanos y el 30% en la tierra pero aún no se tiene la certeza de si estos son los valores exactos y los valores fijados o emitidos de CO₂ en los procesos intermedios que componen este ciclo.

Algunas incertidumbres asociadas a procesos físicos determinantes en clima del planeta y que son irreversibles están siendo involucradas poco a poco en los modelos globales, sin embargo, no todos los modelos han logrado introducir adecuadamente estos factores. Eventos que podrían suceder al alcanzarse un valor determinado en la temperatura del globo, tales como la Fundición del Permafrost, la reducción de la precipitación en la selva amazónica, la fusión de Groenlandia o algún cambio en la circulación termohalina son denominados Tipping Points y están directamente asociados a cambios bruscos en el sistema climático que pueden suceder cuando se fuerza al sistema climático más allá de un valor.

Los modelos globales actuales trabajan con vegetación estable, no se contemplan las modificaciones que ocurrirían en la cobertura vegetal de acuerdo con el cambio de las condiciones climáticas y debido a que las proyecciones de cambio climático se realizan en la escala cercana al siglo, los eventuales cambios de vegetación que se llegasen a presentar en el tiempo de proyección introducen mayor incertidumbre a las simulaciones realizadas.

La misma falta de certeza de qué ocurrirá con la economía, la población, la oferta de combustibles y los demás aspectos que se contemplan en la definición de los escenarios de emisiones de CO₂ del IPCC introduce incertidumbre a la modelación de cambio climático. Se suma a todo lo anterior que los diferentes escenarios de emisiones no tienen en cuenta cambios catastróficos asociados, por ejemplo, a guerras, crisis económicas, caídas drásticas en la población y por lo tanto, no las podemos cuantificar ni tratar en los escenarios regionales.

Los anteriores fenómenos de los cuales no conocemos su efecto exacto en el cambio climático de la tierra no pueden ser cuantificados con las herramientas actuales de simulación y añadirían un problema más a los cálculos

que obligatoriamente se deben realizar. Las incertidumbres asociadas se ignoran y no se cuantifican para efectos de informar rangos de confianza de los resultados de un modelo de cambio climático.

Contrario a las anteriores incertidumbres, están aquellas que se derivan de los resultados de los modelos climáticos globales relacionadas con la destreza del modelo para reproducir los fenómenos físicos de la atmósfera. Estas incertidumbres se pueden tratar y cuantificar ya que es factible evaluar los modelos de acuerdo a su desempeño en la zona estudiada.

Al llevar los resultados de los modelos globales a escala regional, las técnicas de regionalización utilizadas tienen un error asociado que incrementa la incertidumbre del resultado final que puede ser llevada a términos de error.

Por todo lo expuesto anteriormente, acotar y evaluar las incertidumbres es fundamental para el posterior uso de los escenarios regionalizados en estudios de vulnerabilidad y adaptación. Una forma de hacerlo es mediante la construcción de ensambles de múltiples modelos que permitan reducir la incertidumbre total unido al uso de varios métodos de regionalización para evaluar incertidumbres adicionales. Mayor coincidencia entre modelos, simulaciones y técnicas se verá reflejada en menor incertidumbre y en la posibilidad de dar valores extremos. La unión de modelos es un trabajo estadístico del cual se recomienda mostrar la curva obtenida con más o menos una desviación estándar.

Para reducir la incertidumbre de los modelos climáticos regionales y locales se recomienda tener la capacidad de ejecutar la mayor cantidad de modelos climáticos que permitan, a partir de una línea base, reproducir desde el pasado el clima presente. Aquellos cuyos resultados simulando el clima presente sean satisfactorios, serán los que se utilicen para simular el clima futuro; se deben mejorar las parametrizaciones encontrando los valores para los parámetros de entrada que más se ajustan a los modelos utilizados y a la zona de estudio (<http://www.boinc-ecuador.com/climateprediction/objetivos-del-experimento-climateprediction>).

La predicción de conjunto o ensambles permite reducir la incertidumbre implícita de los modelos al combinar los resultados de varios modelos ejecutados con parametrizaciones similares, así, la lógica utilizada por cada modelo individual se enmascara.

Para cuantificar la incertidumbre se requiere conocer la incertidumbre de los datos que se utilizan para parametrizar el modelo, por ejemplo, se debe conocer no solo el valor de la nubosidad a ingresar en el modelo sino también la incertidumbre que ese dato por sí mismo contiene. Una base de datos climatológicos convenientemente controlada en su calidad y homogeneizada disminuye la incertidumbre al regionalizar las

proyecciones de evolución del clima generadas por los modelos climáticos globales y para validar el comportamiento de los modelos climáticos globales, regionales y locales sobre un territorio nacional.

4. CONSIDERACIONES PARA LA ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA COLOMBIA

4.1. ESCENARIOS REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Al generar escenarios regionales de cambio climático para Colombia se recomienda tener en cuenta las regiones con características geográficas comunes más que la realización de cálculos por divisiones político-administrativas. Se adecuado tomar como áreas de estudio las regiones naturales por vertientes hidrográficas, por ejemplo: vertiente del Caribe, vertiente del Pacífico, vertiente del Orinoco, vertiente del Amazonas, vertiente del Catatumbo. Las regiones naturales por las cuales se encuentra caracterizado el país también es un adecuado criterio (Caribe, Andina, Pacífica, Orinoquia y Amazonía).

4.1.1. GRILLA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS

Los escenarios regionales se deberán presentar en una grilla con celdas de 25 Km x 25 km o de ser posible, en celdas de 20 km x 20 km.

4.1.2. FORMATO DE ARCHIVOS

Los escenarios regionales obtenidos con técnicas dinámicas o estadísticas deberán producir archivos en formato ASCII con la siguiente estructura:

Propuesta 1: En la actualidad, el IPCC publica los resultados de modelos climáticos globales, tanto de simulación de clima presente como de proyecciones de escenarios siguiendo el formato que se presenta a continuación. Dicho formato es provisional y está en evaluación

Attribute,g,"Scenario","SRA1B",
Attribute,g,"Model","HADGEM",
Attribute,v,"Standard name","air_temperature_anomaly",
Attribute,v,"Units","K",
Attribute,v,"Name","air_temperature_anomaly",
Attribute,g,Time period in year,Jan,
Attribute,g,Start year,2040,
Attribute,g,End year,2069,
Comment,First column,latitude, ,
Comment,First row,longitude, ,
 <DATA>
 AXES, 0.00, 1.88, 3.75, 5.63, 7.50, 9.38, 11.25, 13.13, 15.00, 16.88, 18.75, 20.63, 22.50, 24.38, 26.25, 28.13, 30.00,
 30.00, 2.71, 2.61, 2.12, 2.48, 2.52, 2.47, 2.19, 2.37, 2.44, 2.53, 2.57, 2.62, 2.65, 2.54, 2.42, 2.42, 2.21,
 28.75, 2.73, 2.96, 2.81, 2.63, 2.59, 2.61, 3.28, 2.00, 2.44, 2.43, 2.43, 2.02, 2.62, 2.65, 2.40, 2.12, 2.07,
 27.50, 3.18, 2.86, 2.86, 3.56, 2.47, 1.42, 2.49, 2.47, 3.75, 2.42, 1.49, 2.48, 2.54, 2.41, 2.33, 1.72, 1.87,
 26.25, 3.01, 2.69, 2.31, 3.24, 2.00, 1.91, 2.35, 2.43, 1.36, 1.28, 1.15, 1.58, 2.29, 2.23, 2.26, 1.99, 2.13,
 25.00, 2.59, 2.30, 2.41, 2.65, 2.61, 2.38, 2.44, 2.45, 2.36, 1.41, 2.43, 2.37, 2.39, 2.35, 2.30, 2.32, 2.27,

Propuesta 2: El formato utilizado por instituciones que realizan predicción del tiempo comparten información en el siguiente formato.

Attribute,g,Dataset,IPCC AR4 Climate projections
Attribute,g,Scenario,SRA1B,g,Model,HADGEM
Attribute,v,Standard name,air_temperature_anomaly
Attribute,v,Units,K
Attribute,v,Name,air_temperature_anomaly
Attribute,g,Time period in year,Jan
Attribute,g,Start year,2040
Attribute,g,End year,2069
Comment,First data,latitude,
Comment,Second data,longitude,
 <DATA
 AXES,0,1.88,3.75,5.63,7.5,9.38,11.25,13.13,15,16.88,18.75,20.63,22.5,24.38,26.25,28.13,30

 30,28.75,27.5,26.25,25,23.75,22.5,21.25,20,18.75,17.5,16.25,15,13.75,12.5,11.25,10,8.75,7.5,6.25,5,3.75,2.5,1.25,0

 2.71,2.61,2.12,2.48,2.52,2.47,2.19,2.37,2.44,2.53,2.57,2.62,2.65,2.54,2.42,2.42,2.21,2.73,2.96,2.81,2.63,2.59,2.61,3.28,2,2.
 44,2.43,2.43,2.02,2.62,2.65,2.4,2.12,2.07,3.18,2.86,2.86,3.56,2.47,1.42,2.49,2.47,3.75,2.42,1.49,2.48,2.54,2.41,2.33,1.72,1.
 87,3.01,2.69,2.31,3.24,2,1.91,2.35,2.43,1.36,1.28,1.15,1.58,2.29,2.23,2.26,1.99,2.13

Propuesta 3: Este formato es utilizado en proyectos de regionalización dinámica utilizando el modelo PRECIS, el cual es un archivo texto separado por tabulación.

Latitud	Longitud	2011	2012	2013	2014	2015
15,304	275,88	189,61	96,7993	135,332	130,034	95,9193
15,304	276,1298,16	142,249	207,523	185,102	163,705	
15,304	276,32	365,062	171,166	241,231	216,268	189,541
15,304	276,54	399,016	180,419	257,908	223,113	195,108
15,304	276,76	407,994	183,329	248,695	209,399	188,333
15,304	276,98	398,036	178,422	207,9	194,543	172,318

4.1.3. PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN

Los resultados de los escenarios climáticos regionalizados deberán ser presentados con su correspondiente tubo de incertidumbre que indique el valor medio obtenido en cada periodo de tiempo tomado y los valores mínimo y máximo proyectados para la variable presentada.

4.2. ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Al generar escenarios locales de cambio climático para Colombia, se recomienda tener en cuenta las regiones definidas por el IDEAM a partir de características geográficas comunes a nivel de cuenca. Son 22 regiones en las que está dividido el territorio nacional, así:

1. *Región Caribe: Urabá, Sabanas de Córdoba, Bolívar, Cesar, Sucre.*
2. *Región Andina: Boyacá, Sabana de Bogotá, Alto Magdalena, Eje Cafetero, Norte de Santander, Montañas de Santander, Alto Cauca, Medio Magdalena – Puerto Wilches, Medio Magdalena – Puerto Boyacá, Tolima grande, Montaña Nariñense.*
3. *Orinoquia: Piedemonte Llanero, Meta y Casanare, Arauca.*
4. *Amazonía: Amazonía, Caquetá*
5. *Región Pacífica: Chocó, Litoral de Nariño.*

Si la decisión es realizar escenarios locales de cambio climático respondiendo a alguna división político-administrativa, el escenario deberá generarse teniendo en cuenta las áreas que rodean el lugar de estudio.

4.2.1. GRILLA PARA GENERACIÓN DE RESULTADOS

El tamaño de celda recomendado para escenarios locales es 10 km x 10 km para procesos dinámicos. Para escenarios locales generados a partir de técnicas estadísticas, se recomienda una resolución máxima que sea acorde con el conjunto de observaciones reales tomadas para el procesamiento.

4.2.2. FORMATO DE ARCHIVOS

Los escenarios locales obtenidos con técnicas estadísticas deberán producir archivos en formato ASCII con la estructura siguiente.

Propuesta 3: Los escenarios locales calculados con técnicas estadísticas se hayan con base en puntos de observación climática. El archivo propuesto para la presentación de datos deberá contener el código del punto de muestreo, la ubicación geográfica (long, lat), año del dato, mes del dato, valor de la observación real, valor de la simulación del tiempo presente, valor de la proyección del escenario de cambio climático y un encabezado que indique el modelo global utilizado, el escenario tomado, la variable proyectada, unidades de medida de la variable proyectada, periodo de la proyección global.

51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	1	-999	215	218
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	2	230	230	231
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	3	213	220	216
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	4	231	231	231
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	5	220	233	238
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	6	233	233	238
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	7	-999	-999	251
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	8	226	241	231
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	9	231	213	236
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	10	210	233	220
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	11	225	241	233
51308504	-73.1163611	5.7459167	1990	12	240	243	230
51308504	-73.1163611	5.7459167	1991	1	233	225	220
51308504	-73.1163611	5.7459167	1991	2	231	220	218

4.2.3. PRESENTACIÓN DE INFORMACIÓN

Los resultados de los escenarios climáticos a escala local, deberán ser presentados con su correspondiente tubo de incertidumbre que indique el valor medio proyectado y los valores máximo y mínimo estimados para cada punto tenido en cuenta. Un ejemplo se presenta en la siguiente figura, en donde se muestra el resultado de tres escenarios de emisiones con sus respectivas incertidumbres para un punto en España.

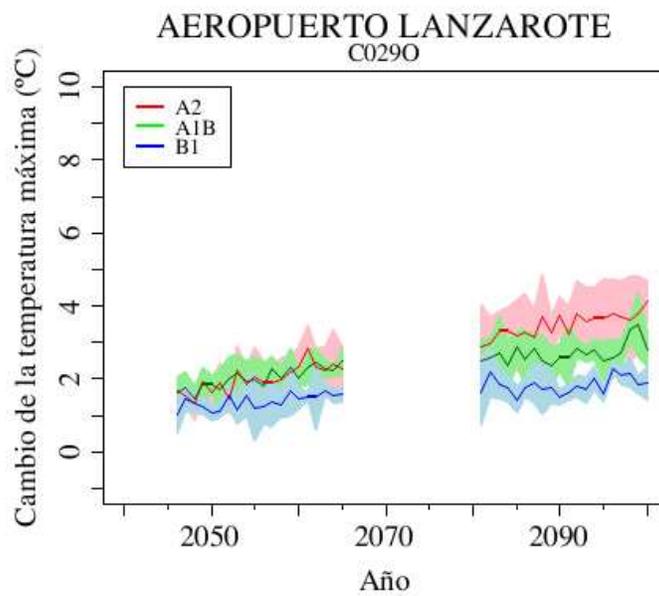


Figura 6. Proyección del cambio en la temperatura máxima para tres escenarios de emisiones

Fuente: AEMET, 2009

5. ANÁLISIS DE EVENTOS EXTREMOS

El estudio de los cambios del clima está relacionado con el interés en conocer los posibles estados extremos del tiempo atmosférico que se puedan presentar en mayor medida de acuerdo con los cambios del clima proyectados. Conocer el pasado y los eventos extremos ocurridos en épocas anteriores no garantiza conocer si se presentaran en un futuro eventos extremos de similares características y es en este aspecto que se recurre a los escenarios de cambio climático en aras de saber la probabilidad de tener este tipo de eventos en las proyecciones de los escenarios de cambio climático seleccionados ya que “se espera que el cambio climático afecte la frecuencia y magnitud de eventos extremos del tiempo debido a las altas temperaturas, un ciclo hidrológico intensificado o movimientos atmosféricos más vigorosos” (<http://prudence.dmi.dk/>).

El conocimiento que se tenga de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos permitirá encontrar el balance entre la necesidad de construir infraestructura costosa y las posibles necesidades que se puedan presentar en un futuro y que no hayan sido cubiertas en el presente. Analizar eventos extremos con miras a estudios de vulnerabilidad y definición de planes de mitigación y adaptación, debe partir de las series históricas de datos acerca de eventos extremos, tiempo entre ocurrencia de los mismos y su posible asociación con fenómenos de variabilidad climática.

La preparación de series de datos para el análisis de extremos, el uso de índices descriptivos y aplicación de teorías de análisis de extremos, realización de aproximaciones estadísticas para determinar cambios en extremos, y la evaluación de los cambios modelados y cambios proyectados son los principales aspectos a tener en cuenta cuando se desea incluir proyecciones de eventos extremos en condiciones de cambio climático (Klein, et al, 2009).

El análisis de extremos debe realizarse contemplando los siguientes ítems (Klein, et al, 2009):

- a) Preparación de series de datos, principalmente observaciones.*
- b) Uso de índices descriptivos y teoría de valores extremos para evaluar los extremos.*
- c) Cálculo de tendencias y otras aproximaciones estadísticas para valorar cambios en extremos*
- d) Evaluación de cambios observados y proyectar posibles cambios en extremos.*

6. RECOMENDACIONES

El conocimiento del cambio climático en el País se debe hacer de tal forma que se convierta en una base científica para la toma de decisiones. La definición de políticas para el sector agropecuario, para el manejo del recurso hídrico, para los planes de ordenamiento territorial, para el manejo de bosques, etc. Se deben hacer teniendo en cuenta información de calidad que se genere bajo el concepto de cambio climático.

La construcción de esta base científica se puede realizar si se trabaja en dos frentes. El primero es el orden para afrontar los estudios de cambio climático y según los intereses de cada organización, ésta puede trabajar en una o varias líneas de trabajo. La segunda, es creando el Servicio Climático, como un esfuerzo del País para generar, acopiar, apoyar y divulgar los logros que se realicen en el ámbito académico, investigativo y empresarial.

LÍNEAS DE TRABAJO PARA GENERAR ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

La generación de escenarios de cambio climático involucra varias etapas, la aplicación de diferentes métodos para obtener resultados similares, el proceso de selección y uso de modelos climáticos globales, el tratamiento de datos para evaluación de modelos o su uso para regionalización estadística y el estudio del efecto regional de las aguas oceánicas. Este amplio espectro en la generación de escenarios de cambio climático sugiere la especialización en las siguientes líneas de acción:

- 1. Combinación de proyecciones regionalizadas obtenidas con diferentes métodos y proyecciones.*
- 2. Bases de datos climáticos y oceanográficos con calidad y homogenizados.*
- 3. Análisis, evaluación y validación de resultados de los Modelos Climáticos Globales en periodos observacionales de referencia.*
- 4. Regionalización con integración de modelos atmosféricos climáticos Regionales (RACM)*
- 5. Regionalización con técnicas estadísticas (SDS)*
- 6. Proyecciones con modelos oceánicos regionales (ROCM)*

Se sugiere que las entidades interesadas en realizar escenarios de cambio climático regionales y locales se especialicen en una o algunas de las anteriores líneas de acción para que perfeccionen su conocimiento, generen datos sólidos comparables entre sí y aprovechen más sus recursos humanos, tecnológicos y de tiempo de procesamiento.

SERVICIO CLIMÁTICO

Se recomienda la creación del Servicio Climático Nacional que cuyas funciones estarían encaminadas a:

- 1. Realizar proyecciones de cambio climático a largo plazo.*
- 2. Proveer información de escenarios de cambio climático globales.*
- 3. Generar escenarios regionales y locales de cambio climático.*
- 4. Acopiar los resultados de escenarios de cambio climáticos regionales y locales de terceros.*
- 5. Proveer asistencia técnica para la realización de escenarios climáticos regionales y locales.*
- 6. Proveer los estándares de generación de información climática y de proyecciones climáticas para el País.*
- 7. Generar la información de calidad necesaria con fines de análisis de vulnerabilidad regional y local, así como adaptación al cambio climático y prestar asesoría en el tema.*
- 8. Dar apoyo técnico y generar la información necesaria para el análisis y formulación de propuestas de adaptación regional y local al cambio climático.*
- 9. Dar apoyo técnico y proveer información para que la comunidad colombiana pueda generar propuestas de mitigación y reducción de emisiones de gases efecto invernadero.*
- 10. Apoyar el tratamiento de las series de datos climáticos garantizando su calidad para ser utilizados en procesos de regionalización de escenarios de cambio climático.*
- 11. Generar boletines periódicos del clima en meses o años.*
- 12. Realizar predicción estacional e interanual.*
- 13. Realizar actividades relacionadas con organizar, archivar y comunicar información de escenarios de cambio climático.*
- 14. Promover a nivel nacional la investigación en cambio climático.*

El IDEAM realiza la mayoría de estas tareas, casi todas en la Subdirección de Meteorología, lo cual se convierte en fortaleza si se llegase a conformar formalmente el Servicio Climático Nacional, el cual deberá trabajar de forma transversal en toda la institución con el fin de aunar recursos técnicos y humanos distribuyendo adecuadamente las tareas a realizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMET - Agencia Estatal de Meteorología, 2009. **Generación de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático para España**. Ministerio de Ambiente y medio rural y Marino, Gobierno de España.

CI, UN - Conservación Internacional, Universidad Nacional de Colombia, 2008. **“Informe Final del contrato: Elaboración de escenarios de cambio climático para la segunda mitad del siglo XXI en diferentes regiones del territorio colombiano y de un informe de evaluación del cambio climático en Colombia que incluya entre otros las tendencias actuales y futuras y los posibles impactos del cambio climático en los sectores socioeconómicos y regiones del país”**. Bogotá, Colombia.

Feddersen H., Andersen U., 2004. **A method for statistical downscaling of seasonal ensemble predictions**. Danish Meteorological Institute, Lyngbyvej 100, DK-2100. Copenhagen, Denmark

Hewitt, C. 2005. **ENSEMBLES, An Integrated Project under the 6th Framework Programme of the EU**. Project overview and update for RT6 Meeting, Exeter, 6-8 June 2005.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2001. **Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático**. Bogotá, Colombia.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010 a. **Adaptación al Cambio Climático, Brochure Proyecto INAP**. Bogotá, Colombia.

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2010b. **Segunda Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático**. Bogotá, Colombia.

IPCC – The Intergovernmental Panel of Climate Change, 1995. **Cambio Climático: glosario del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático**. New York, USA.

IPCC – The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000: SRES: **Special Report on Emissions Scenarios**. New York, USA.

IPCC – The Intergovernmental Panel of Climate Change, 2001. **Informe de Síntesis. Anexo B: Glosario de términos utilizados en el Tercer Informe de Evaluación del IPCC**.

IPCC – The Intergovernmental Panel of Climate Change, 2001b. **CLIMATE CHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press. New York, USA.

IPCC - *The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007: AR4 (Fourth Assessment Report): Climate Change <2007, The Physical Science Basis*. Cambridge University Press. New York, USA.

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

Klein Tank Albert, Zwiers Francis W and Zhang Xuebin, 2009. **Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for Adaptation**. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland.

Moss, R. y S. Schneider, 2000: **Uncertainties in the IPCC TAR: recommendations to Lead Authors for more consistent assessment and reporting**. En: *Guidance Papers on the Cross-Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC* [Pachauri, R., T. Taniguchi, y K. Tanaka (eds.)]. Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre Cambio Climático, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, págs. 33–51. Disponible en Internet en <http://www.qispri.or.jp>.

Narula, S. C. and Wellington, J. F. 2002. **Sensitivity analysis for predictor variables in the MSAE regression**. *Comput. Stat. Data Anal.* 40, 2 (Aug. 2002), 355-373. DOI= [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9473\(01\)00110-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-9473(01)00110-4)

Ribalaygua Batalla Jaime, 2009. **Escenarios de Clima Futuro**. Memorias del 5º Congreso Forestal Español. Ávila, España.

Ruiz Franklin, 2007. **Escenarios de Cambio Climático, Algunos Modelos y Resultados de Lluvia para Colombia Bajo el Escenario A1B**. Nota técnica. IDEAM, Bogotá, Colombia.

San Martín Segura D., 2009. **Robustez de las Técnicas Estadísticas de Regionalización en Condiciones de Cambio Climático**. Tesis del Master en Matemáticas y Computación. Universidad de Cantabria. España.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1992. **CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), 1998. **PROTOCOLO DE KYOTO DE LA CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

REFERENCIAS EN INTERNET

CLARISE-LBP Project. Consultado en septiembre de 2010 en <http://www.claris-eu.org/>

CORDEX domains for model integrations (updated on 25 June 2010). Consultado en Diciembre de 2010 en <http://www.meteo.unican.es/en/projects/CORDEX>

ETCCDI – Expert Team on Climate Change Detection and Indices. Climate Change Indices. Consultado en Diciembre de 2010 en: <http://cccma.seos.uvic.ca/etccdi/index.shtml>

Instituto Nacional de Ecología (INE). La investigación sobre el cambio climático en México, Consultado en febrero de 2010 en http://cambio_climatico.ine.gob.mx/investigacioncc/investigacionencc.html

PRUDENCE PROJECT. Consultado en septiembre de 2010 en <http://prudence.dmi.dk>.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). México, Consultado en febrero de 2010 en <http://www.semarnat.gob.mx/Pages/inicio.aspx>.

Viner, David, 2000: Climatic Research Unit. University of East Anglia Norwich NR4 7TJ, UK. Recuperado en febrero de 2009 en: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/modelcc/>.