

2010

GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE MODELOS GLOBALES - GUÍA PARA TOMADORES DE DECISIONES



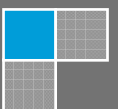
La Guía para Tomadores de Decisiones tiene como objeto ofrecer los conceptos necesarios que permitan decidir la realización de escenarios de cambio climático a escala regional y local.



Instituto de Hidrología,
Meteorología y
Estudios Ambientales

Blanca Elvira Oviedo Torres
Subdirección de Meteorología
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM
Bogotá, Colombia

2010



GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES A PARTIR DE MODELOS GLOBALES - GUÍA PARA TOMADORES DE DECISIONES

INTRODUCCIÓN

Se entiende por clima el comportamiento medio observado a través de los años, de las variables meteorológicas que describen el estado del tiempo (IPCC; 1995). Cuando ese comportamiento cambia de manera permanente, se dice que ha ocurrido un cambio climático.

El clima regula las actividades agropecuarias, la oferta hídrica, la cobertura vegetal, el hábitat de especies animales y vegetales, los hábitos de las personas, y en casos de cambio extremo, incrementa la vulnerabilidad por el aumento de sequías, inundaciones, incendios forestales, tormentas, heladas, y otros tantos relacionados con el estado del tiempo. Un cambio en el clima afectará todas estas esferas y, por lo tanto, al hombre.

Conocer los probables efectos que el cambio climático puede tener a futuro sobre una región o una zona reviste gran importancia para la planeación de inversión de recursos en aquellos aspectos que tienen mayor vulnerabilidad al cambio y para la definición de planes de mitigación del riesgo y de las consecuencias que pueda traer consigo los cambios en el clima.

El primer paso para este conocimiento de efectos de cambio del clima sobre un área determinada es la generación de escenarios de cambio climático regionales y locales, los cuales parten de información altamente elaborada a partir de modelos globales del clima. Los datos que un modelamiento del clima futuro ofrece, son el insumo principal para determinar vulnerabilidades en el recurso hídrico, en la salud, en la agricultura, en la infraestructura, etc.

1. IMPORTANCIA DE LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALES Y LOCALES

El cambio climático a nivel mundial es inequívoco. El incremento de la temperatura del globo terráqueo ha sido comprobado, encontrándose que entre 1990 y 2005, la temperatura ha aumentado aproximadamente 0.2°C (IPCC, 2007). Igualmente se ha verificado su tendencia al aumento y al año 2010 ya se tienen evidencias del efecto que esta temperatura superior tiene sobre el nivel del mar, los hielos polares, las corrientes marinas, los glaciares y páramos, entre otros.

Las proyecciones mundiales indican que para finales del siglo XXI la probabilidad de que aumente la ocurrencia de eventos extremos como olas de calor, precipitaciones intensas, fuertes heladas y épocas de sequía o de precipitaciones más marcadas. Igualmente, las proyecciones muestran que es probable que los ciclones tropicales se incrementen, así como la intensidad de los vientos y precipitaciones que conllevan.

Para América Latina se espera que “hacia la mitad del siglo, los aumentos de temperatura y, por consiguiente, la disminución del agua en los suelos darían lugar a una sustitución gradual de los bosque tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia. La vegetación semiárida sería progresivamente sustituida por vegetación de tierras áridas. Podrían producirse pérdidas importantes de biodiversidad debido a la extinción de especies en numerosas áreas de la América Latina tropical. La productividad de ciertos cultivos importantes disminuiría, así como la productividad pecuaria, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. En las zonas templadas aumentaría el rendimiento de los cultivos de haba de soja. En conjunto, aumentaría el número de personas amenazadas de hambre (grado de confianza medio). Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían seriamente la disponibilidad de agua para el consumo humano, para la agricultura y para la generación de energía” (IPCC, 2007 pp52).

En las islas pequeñas, “el aumento de nivel del mar podría acrecentar las inundaciones, las mareas de tempestad, la erosión y otros fenómenos costeros peligrosos, amenazando así las infraestructuras, asentamientos e instalaciones esenciales que sustentan los medios de subsistencia de las comunidades insulares. El deterioro de las condiciones en las costas como consecuencia, por ejemplo, de la erosión de las playas o de la decoloración de los corales afectaría los recursos locales. Hacia mediados del siglo, el cambio climático haría disminuir los recursos hídricos en gran número de islas pequeñas, por ejemplo, del Caribe o del Pacífico, hasta el punto de no ser ya suficientes para cubrir la demanda durante períodos de precipitación escasa. Con el aumento de las temperaturas aumentarían las invasiones de especies no nativas, particularmente en islas de latitudes medias y altas.” (IPCC, 2007 pp52).

Saber con exactitud qué posible afectación se tendrá en un área de interés solo es posible mediante la generación de escenarios de cambio climático regionales, para áreas extensas, por ejemplo a nivel de Colombia; o locales, para áreas más pequeñas como lo son las departamentales.

El resultado de los escenarios regionales y locales permitirá conocer los posibles riesgos y vulnerabilidades en ecosistemas, sectores productivos, población, cambio en coberturas vegetales de acuerdo a supuestos incrementos irreversibles de la temperatura superficial. Esta información

será la herramienta base para la formulación de planes de mitigación y adaptación del cambio climático.

2. ANTECEDENTES EN COLOMBIA

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 prevee 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, 2001).

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 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 este 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).

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 (IDEAM, 2010a), 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 colombiana.

- 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 de Colombia, 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?!Servicio=Publicaciones&ITipo=publicaciones&IFuncion=loadContenidoPublicacion&id=1076>).

Con PRECIS el IDEAM 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. En la Figura 1 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.

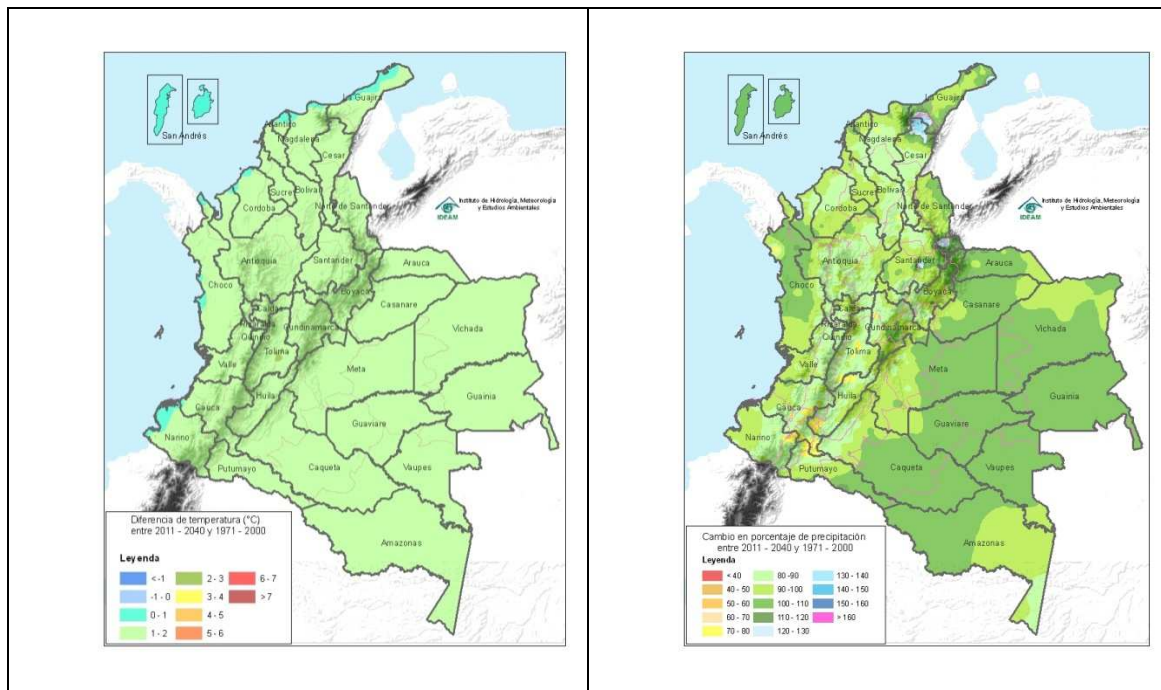


Figura 1. Cambios proyectados para la Temperatura Media y la Precipitación en el periodo 2011-2040 con respecto al periodo 1971-2000. Fuente: IDEAM.

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 2 2.

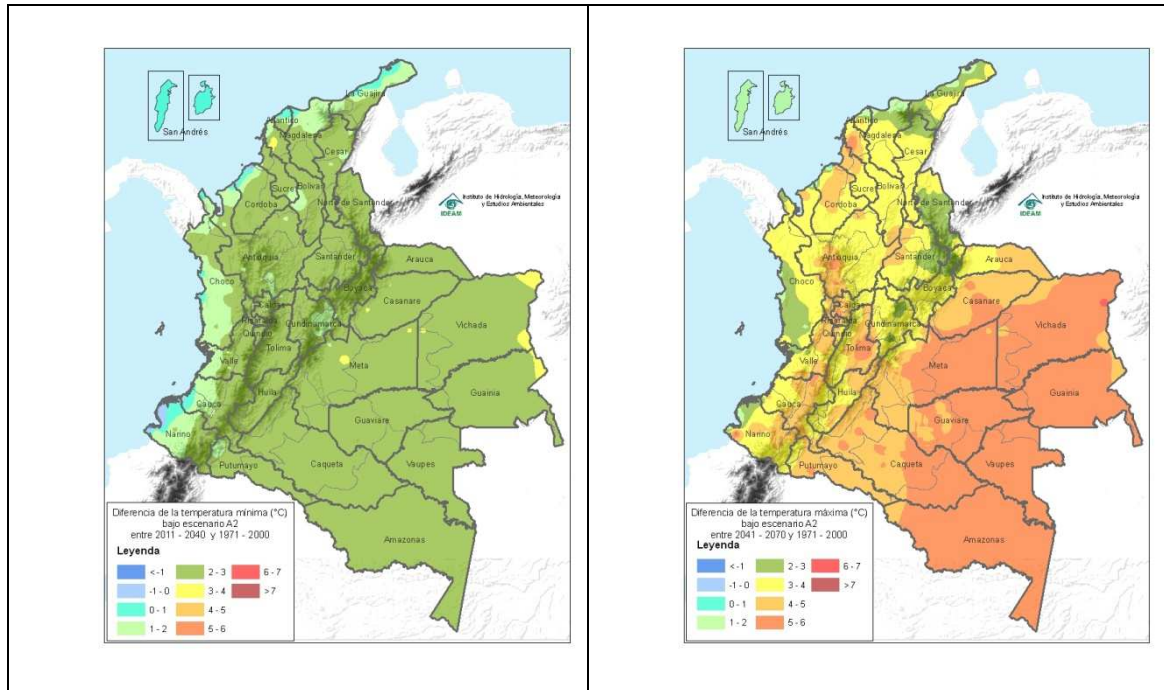


Figura 2. Cambios proyectados para la Temperatura Mínima y la Temperatura Máxima para el año 2040 en condiciones del escenario A2. Fuente: IDEAM, 2010.

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 3 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.

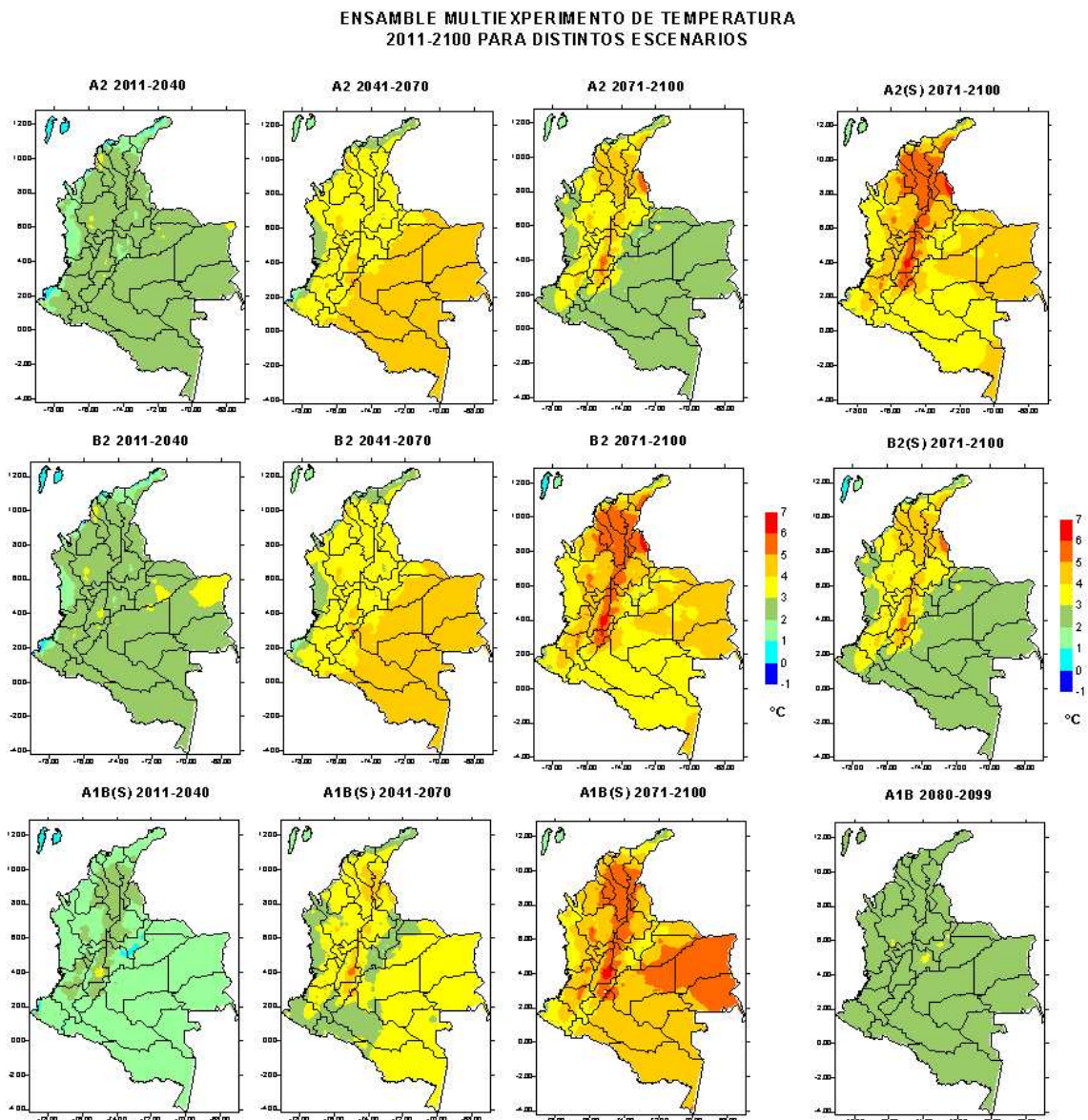


Figura 3. Diferencia de temperatura de clima futuro (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) con clima presente (1971-2000) bajo distintos escenarios y condiciones iniciales en los modelos globales. En el caso A1B 2080-2099 corresponde a la diferencia con el período base 1979-1998 suministrado por el GSM-MRI. Fuente: F,Ruiz, IDEAM.

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.

En Colombia se han realizado estudios de vulnerabilidad y Adaptación ante el cambio climático de relevancia para el País. El estudio de vulnerabilidad más extenso y significativo, 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 .

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.

Todos estos estudios forman parte del conocimiento que Colombia ha venido creando y que se requiere para estar prevenidos ante los efectos que se aproximan debido al cambio climático, pero no son suficientes cuando de evaluar zonas pequeñas se trata. Es importante, por lo tanto, generar los escenarios climáticos del área de interés.

3. ESCENARIOS DE EMISIONES Y MODELOS GLOBALES DE CAMBIO CLIMÁTICO

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.

3.1. Escenarios de Emisiones de CO2 (SRES)

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, debido a que para establecer las condiciones climáticas del futuro se acude a la elaboración de escenarios de cambio climático y los denominó escenarios SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*). 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:

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.

Familia B = economía que apunta a la sostenibilidad del medio ambiente

Familia 1 = La población del mundo disminuye después de un máximo en 2050

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:

T = Combustibles renovables.

B = Combustibles basados en mezclas.

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)

3.2. 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 2.5°, 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.

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, aprox) 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.

4. ELABORACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL O LOCAL

La generación de escenarios regionales y locales se puede lograr 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. Existen modelos dinámicos que son refinados con técnicas estadísticas, es decir, son sistemas híbridos para modelar el clima regional presente y futuro.

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 años como mínimo, 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 se debe continuar con:

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, como por ejemplo, aquellos que ofrecen información acerca de oferta hídrica que puede ser extrapolada a inundaciones, sequías, escases de alimentos.
10. Realizar los estudios pertinentes de vulnerabilidad, adaptación y mitigación.

Para realizar escenarios regionales o locales de cambio climático estadísticamente se deberán seguir los siguientes pasos:

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. Asociar los valores encontrados con los modelos climáticos globales a los modelos regionales de cambio climático (RCM).
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.

10. Realizar los estudios pertinentes de vulnerabilidad, adaptación y mitigación.

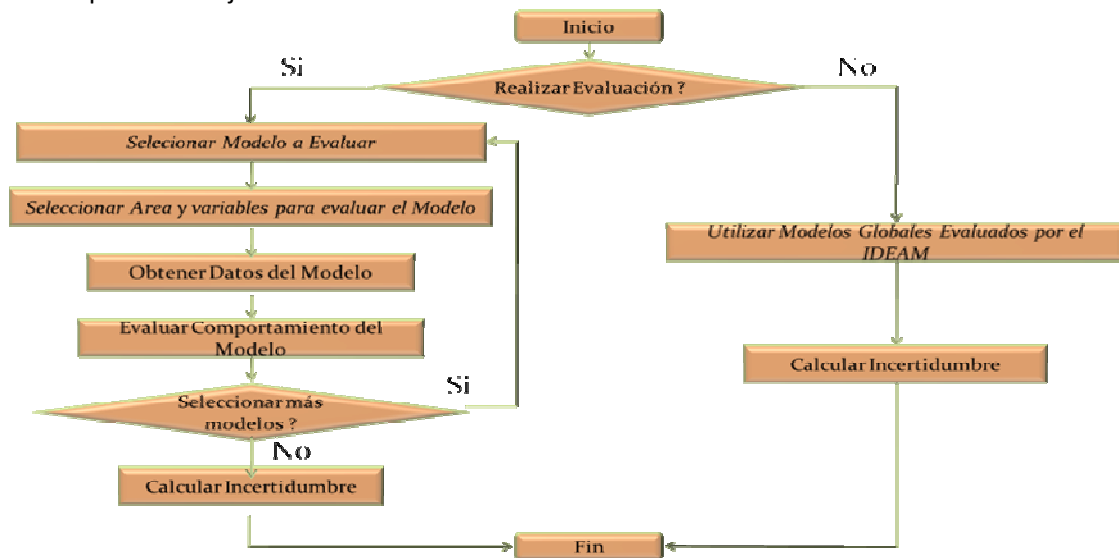
Para realizar escenarios regionales o locales de cambio climático híbridamente, combinando resultados de modelación computacional con regionalización estadística que se aplican para lograr escenarios locales principalmente, se puede realizar el siguiente conjunto de pasos:

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.
14. Realizar los estudios pertinentes de vulnerabilidad, adaptación y mitigación.

El esquema de obtención de escenarios regionales y locales de cambio climático se puede resumir en los siguientes diagramas, que muestran la secuencia a realizar en cada caso.



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:



Finalmente no hay que olvidar que los resultados obtenidos deben ser reportados con la incertidumbre asociada a los cálculos y que son la base para estudios interdisciplinarios que abarquen las problemáticas económicas, sociales, de infraestructura, ecológicas, entre otras ya que la regionalización de un modelo de cambio climático, por sí misma, no provee las áreas más vulnerables ante uno u otro aspecto de interés ni cuantifica riesgos. Expertos en cada tema deben tomar la información obtenida de los escenarios regionales y realizar los respectivos estudios.

5. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS REGIONALES Y LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL O LOCAL Y PERSPECTIVA DE LA GESTIÓN DE RIESGOS

El PNUD expone que las crisis climáticas afectan especialmente a los países en vía de desarrollo y, en el mundo, especialmente a los pobres; tienen marcado efecto en el desarrollo humano y en especial, en las poblaciones pobres (PNUD, 2008 pp 18), quienes sufren “una mayor tensión sobre mecanismos de superación ya sobreexigidos”. Siendo Colombia un país en vía de desarrollo, los esfuerzos de reacción ante el cambio climático deben enfocarse hacia el conocimiento de la vulnerabilidad ante el cambio permanentes en los patrones de temperatura y precipitación, hacia la mitigación de sus efectos y hacia la planificación y determinación de políticas que le permitan al país adaptarse y continuar con su desarrollo económico más que hacia la disminución de las emisiones de los gases efecto invernadero causantes de esta problemática.

El PNUD identifica cinco líneas en las cuales el cambio climático puede afectar el desarrollo humano:

1. Producción Agrícola y Seguridad Alimentaria
2. Escasés de agua potable
3. Aumento en el nivel del mar y exposición a desastres meteorológicos
4. Ecosistemas y biodiversidad
5. Salud Humana.

Se estima que los anteriores factores tendrán estrecha relación con procesos sociales, económicos y ecológicos más amplios. La primera aproximación para determinar cuáles de las anteriores cinco líneas presentan mayor riesgo y vulnerabilidad, parte de las proyecciones a futuro (30, 50, 100 años) de la temperatura y de la precipitación de los cuales se deriva la cuantificación de los riesgos. De allí a importancia de tener escenarios propios de cambio climático a nivel regional y local.

Por riesgo se entiende la probabilidad de ocurrencia de un proceso valorado de acuerdo a sus consecuencias y por vulnerabilidad, la capacidad de respuesta ante un estímulo de acuerdo a una exposición (en tiempo) y a una sensibilidad. Los riesgos debidos al impacto del cambio climático dependen de las características de los sistemas naturales y humanos, de sus vías de desarrollo y de sus ubicaciones específicas (IPCC, 2007). Esta definición indica que es necesario primero contar con la información base que permita cuantificar riesgos, en especial, aquellos relacionados con el cambio climático, para lo cual, se requiere de un conjunto de expertos que estén en la capacidad de analizar cada uno de los aspectos que pueden tener asociado un riesgo en este contexto. Los principales aspectos a ser tenidos en cuenta en esta gestión de riesgos son (IPCC, 2007):

1. Riesgos para los sistemas singulares y amenazados: hacer referencia a los ecosistemas y comunidades polares y de alta montaña, extinción de especies vegetales y animales, reducción de los arrecifes de coral y a las comunidades isleñas.
2. Riesgos de fenómenos meteorológicos extremos: incremento de sequías, olas de calor, inundaciones, tormentas e incendios forestales, así como del nivel del mar.
3. Distribución de impactos y vulnerabilidades: no todo el planeta responderá de la misma forma al cambio climático. Las regiones más pobres suelen ser más vulnerables debido a su baja capacidad de respuesta a los cambios, igualmente la población de ancianos o de latitudes bajas y poco desarrollo, así como regiones secas.
4. Impacto totalizado: en etapas tempranas de cambio climático puede existir un mejoramiento económico a nivel mundial que no se verá reflejado de la misma forma en todos los países del mundo, sin embargo, al finalizar el siglo, es muy posible que la

bonanza económica se reduzca y afecte por igual a toda la población del globo debido a las grandes sumas de dinero que tendrán que utilizarse para la prevención y atención de los eventos asociados al cambio del clima.

5. Riesgos de las singularidades a gran escala: el incremento del nivel del mar que conllevaría a la pérdida de zonas costeras y al cubrimiento de agua de algunas áreas que ahora están sobre el nivel del mar. El derretimiento de Groenlandia o de la Antártida sería la principal causa de este aumento y si llegase a ocurrir, no tendría reverso.

Los municipios y departamentos colombianos administran sus propios recursos y son autónomos en la determinación en los gastos enfocados a la investigación. Una estrategia para afrontar la problemática de cambio climático y su influencia local, debe partir de la gestión de riesgos en conjunto entre municipios o departamentos conexos y con similares características geográficas. La unión de recursos y el trabajo mancomunado dará resultados más rápidamente y con menor incertidumbre.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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**.

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

PNUD – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2008. **Informe sobre el desarrollo Humano 2007/2008 - Resumen**. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. UN DP.

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