

1 INTRODUCCIÓN

El diseño hidrológico se basa en la consideración probabilística de eventos extremos que se seleccionan de acuerdo a un balance entre la seguridad contra las fallas eventuales y la economía de costos de las obras. En principio, la estimación del riesgo se apoya en la extrapolación hacia el futuro de las probabilidades de falla deducidas de las condiciones históricas. Si el cambio climático trae como consecuencia el incremento o decremento de estas probabilidades, incluso las obras bien diseñadas experimentan un riesgo de falla (Mesa, 2006). La hipótesis de estacionariedad en los procesos hidrológicos colapsa ante el cambio climático. La variabilidad del sistema terrestre tiene consecuencias económicas y sociales importantes que es necesario conocer, predecir y comunicar efectivamente a la población y los sectores involucrados, para el diseño de las correspondientes medidas de beneficio, o de prevención y mitigación, según el caso. Un efecto directo de estos cambios se manifiesta en la variabilidad del ciclo hidrológico, con efectos sobre la disponibilidad de agua y los eventos extremos.

Si bien los eventos extremos de precipitación son inherentemente intermitentes, los riesgos que representan se pueden reducir. Es necesario, entonces, predecir futuras tendencias estacionales, anuales y decadales a la luz de los efectos de cambio climático. Mejor información, instituciones más fuertes y nuevas tecnologías, pueden minimizar las pérdidas humanas y materiales.

Las investigaciones realizadas hasta la fecha nos enseñan muchas cosas, tanto positivas como negativas, acerca de la forma en que la hidrología y los recursos hidráulicos se verán afectados por la vulnerabilidad y sensibilidad de los sistemas hidráulicos y las reglas de administración, y estamos en proceso de explorar las fortalezas y debilidades de las tecnologías y las políticas que nos ayudarían a enfrentar los impactos adversos y aprovechar los posibles efectos benéficos.

Se prevé que el calentamiento global acelere el ciclo hidrológico y consecuentemente aumente la presencia de precipitaciones extremas. Además del riesgo de inundaciones, esto podría contribuir a mayores deslizamientos de tierras, avalanchas, y a un aumento en la erosión del suelo.

Existe una indudable evidencia científica que indica que los cambios climáticos plantean severos retos para los sistemas hidráulicos. Algunos aspectos de nuestros recursos hidráulicos son muy sensibles tanto al clima como a la forma en que manejamos nuestros complejos sistemas hidráulicos. Los cambios en el manejo de estos sistemas requieren comprender cuáles cambios serían los más efectivos, y después apelar a la voluntad y dirección de las personas responsables de ello. Pasar por alto o mitigar otros tipos de impactos, aún cuando es posible, podría resultar muy costoso en dinero, salud ambiental e incluso en vidas humanas.

Si nos basamos únicamente en la práctica de la ingeniería actual podemos correr el riesgo de tomar decisiones incorrectas – y potencialmente peligrosas o costosas. Colombia ha invertido miles de millones de dólares en presas, acueductos, instalaciones para el tratamiento de agua, y otras estructuras. Estos sistemas se diseñaron, y en gran parte también son operados

suponiendo que las condiciones climáticas e hidrológicas en el futuro serían estadísticamente iguales que las condiciones en el pasado. Ahora sabemos que esto no es cierto. Por lo tanto, dos de las estrategias más importantes para hacer frente a esta situación son comprender cuál será la magnitud de las consecuencias que sufran los recursos hidráulicos debido al cambio climático, y comenzar a planear para enfrentar y adaptarnos a esos cambios.

Las actividades rutinarias de las entidades a cargo de la planificación, manejo y gestión del agua incluyen la asignación del agua entre múltiples aplicaciones que a menudo compiten, la minimización del riesgo, y la adaptación a las circunstancias que cambian tales como variabilidad en niveles del almacenamiento del agua y demanda del agua debido a los efectos estacionales y/o al crecimiento de la población. Una amplia gama de técnicas de adaptación se han aplicado por muchas décadas: extensión de la capacidad, reglas de funcionamiento que cambian para los sistemas de abastecimiento de agua existentes, prácticas institucionales de manejo de la demanda del agua. Dentro de este contexto, el clima histórico y los expedientes hidrológicos proporcionan la base para una determinación confiable de la cantidad de agua y de las cotas inundación y del riesgo de la sequía. Estas técnicas se basan en que las características estadísticas (p.e. la media y la desviación de estándar) de las variables climáticas e hidrológicas son constantes. (Kabat, y otros 2002). Esto implica una suposición de estacionariedad de primer y segundo orden, la cual es violada por la ocurrencia del cambio climático.

1.1 Hipótesis

El aumento o la disminución de variables como la precipitación, los caudales, la temperatura, etc. aumenta necesariamente los daños ocasionados por inundaciones, deslizamientos de tierra avalanchas y lodo, aumento de la erosión del suelo, aumento de la escorrentía tras la inundación, ocurrencia de sequías, cambios en la oferta hídrica, alteraciones en los caudales bases de los ríos, entre otras (IPCC, 2007). El cambio climático afecta sustancialmente las características del ciclo hidrológico en un amplio rango de escalas espacio-temporales. Estas variaciones alteran la ocurrencia de eventos extremos haciendo necesaria la incorporación de estas variaciones en el diseño hidrológico.

Los modelos climáticos regionales proveen escenarios de cambio climático a alta resolución lo que nos puede dar mayores detalles en distribución de clima que los modelos globales y pueden ayudar en la identificación de extremos climáticos, que seguramente pueden cambiar más radicalmente en el futuro; además de ser de gran ayuda para estudios de impactos y vulnerabilidad.

1.2 Objetivo general

Cuantificar el impacto de distintos escenarios de cambio climático propuestos en el reporte IV del IPCC del año 2007 (AR4) sobre el comportamiento de los eventos hidrológicos extremos en las cinco regiones de Colombia, y sus implicaciones en el diseño hidrológico de caudales máximos para diferente período de retorno y estimación de curvas de intensidad-frecuencia-duración de 24 horas.

1.2.1 Objetivos específicos.

- Lograr una caracterización del clima actual y la estimación de las alteraciones climáticas a lo largo de siglo 21 para el territorio colombiano.
- Validar los resultados de las simulaciones obtenidas para los siglos 20 y 21 por cuatro MCG (Modelos de Circulación General): CCSM3, ECHAM5, HADGEM1 y MIROC 3.2 HIRES, con datos puntuales de estaciones de precipitación en Colombia para el periodo comprendido entre 1981 y 2000.
- Analizar las series de intensidad de precipitación provenientes de los resultados obtenidos de dos MCG para los escenarios de cambio climático: SRES A2 y SRES B2, durante las épocas 2046 al 2065 y del 2081 al 2100 del siglo 21, e identificar los cambios en sus parámetros estadísticos, en comparación con los resultados obtenidos para el periodo 1981 al 2000 del siglo 20.
- Emplear las series pasadas y futuras de precipitación provenientes de los resultados obtenidos por los MCG CCSM3 Y ECHAM5 para los escenarios de cambio climático SRES A2 y SRES B2 propuestos en el AR4, para la estimación de curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración de 24 horas asociadas con diferentes periodos de retorno, y comparar los resultados con aquellas “observadas” por los modelos para el siglo 20.
- Estimar los balances hídricos de largo plazo para la cuenca de río Magdalena empleando las series de precipitación simuladas para el siglo 21 por dos MCG CCSM3 Y ECHAM5 y comparar los resultados con aquellos “observados” por los modelos para el siglo 20.

2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Para la realización de este trabajo se han utilizado datos de distintas fuentes: series históricas de precipitación en el numeral 2.1 y resultados de Modelos de Circulación General (MCGs) en el numeral 2.2. El procesamiento de cada tipo de información hizo posible obtener series mensuales de precipitación tanto para los MCG como para las estaciones puntuales en la misma zona y para el mismo intervalo de tiempo. A continuación se hace una descripción detallada de los datos utilizados.

2.1 Series históricas de precipitación

La información puntual corresponde a registros mensuales de 2271 estaciones dentro de la zona de estudio (5°S - 15°N en latitud y 80°W - 65°W en longitud), principalmente en el interior del territorio colombiano. La longitud de registro de las estaciones es variable así como sus periodos de datos faltantes. En la Figura 2-1 se muestra la zona de estudio y la distribución espacial de las estaciones usadas para este estudio. Las fuentes de las cuales se extrajo la información son:

- 1090 estaciones tomadas del sistema de información geográfica orientado a la gestión y modelación de los recursos hídricos HidroSIG (Poveda, y otros 2007) desarrollado por Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (PARH) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. La información disponible en HidroSIG proviene de diferentes entidades y ha sido adquirida por el PARH a través de diversos proyectos de investigación durante más de una década, la cual está consignada en los trabajos de Vélez, Poveda y Mesa (2000), y de Poveda, Vélez y Mesa (2007).
- 1192 estaciones suministradas por el IDEAM dentro del Programa para la Gestión Integral del Recurso Agua en Colombia, desarrollado por el grupo GRECIA, de las cuales 482 estaciones ya pertenecían a la base de datos de HidroSIG y por lo tanto fueron empleadas para complementar los registros.
- 46 estaciones de las Empresas Públicas de Medellín, las cuales fueron utilizadas en el proyecto "Diseño y puesta en marcha de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Aburrá en jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Area Metropolitana del Valle de Aburrá 2008) y en el cual participó la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- 45 estaciones del proyecto "Reconstrucción de las series mensuales de caudal natural para la cuenca del Río Bogotá" desarrollado por el PARH (EMGESA - Universidad

Nacional de Colombia sede Medellín 2007). La información pertenece a IDEAM, CAR y EAAB.

- 16 estaciones de Cenicafé, pertenecientes a los Anuarios meteorológicos de Cenicafé.
- 364 estaciones de la base de datos The Global Historical Climatology Network (GHCN-Monthly), la cual contiene información puntual a nivel mensual de precipitación, temperatura y presión en todo el mundo. La información disponible dentro de la zona de estudio para los países vecinos está constituida gracias a esta base de datos, la cual se encuentra gratuitamente en la web (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-monthly/index.php>)

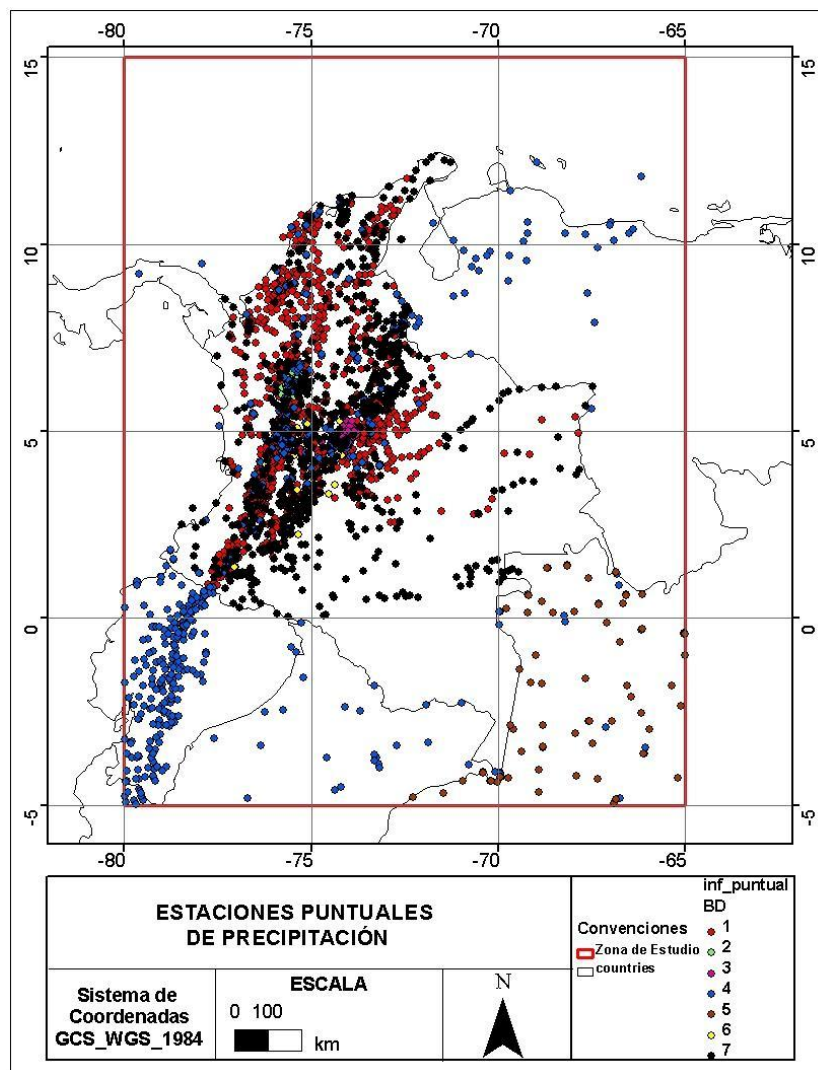


FIGURA 2-1 ZONA DE ESTUDIO Y UBICACIÓN DE ESTACIONES PUNTALES DE PRECIPITACIÓN. BASE DE DATOS: 1)HIDROSIG, 2) RED RÍO, 3) CENICAFÉ, 4) LBA, 5) WHYBAM, 6) BOGOTÁ, 7) IDEAM

2.2 Datos de Modelos De Circulación Global (MCG)

“Los modelos de circulación general de la atmósfera (MCG) son algoritmos matemáticos que representan el sistema climático de la tierra. Estos modelos se encuentran en el extremo superior de la jerarquía de modelos del clima, son acoplados (atmósfera-océano y suelo) y predicen cambios de las variables en un mayor tiempo. Las expresiones matemáticas que configuran un MCG se pueden analizar por separado dentro de las tres principales partes de que constan estos modelos: (1) la dinámica del sistema del clima que describe el movimiento a gran escala de las masas de aire y el transporte de la energía y momentum; (2) la física del sistema climático tal como transmisión de la radiación a través de la atmósfera, la termodinámica, y la evaporación; y (3) otros factores tales como la interacción océano-atmósfera, topografía, y parámetros que representan la dinámica de la vegetación. Estas expresiones son basadas en las leyes físicas tales como la conservación de energía y masa (ver Figura 2-2) así como las relaciones empíricas basadas en características y tendencias observadas, tales como fórmulas que relacionen temperatura y humedad con la formación de la nube” (IPCC, 2007). Para resolver estas ecuaciones los MCG utilizan métodos numéricos discretizando la variación espacial en celdillas 3D (Δx , Δy , Δz) y discretizando la variación temporal en intervalos finitos (Δt) Figura 2-3.

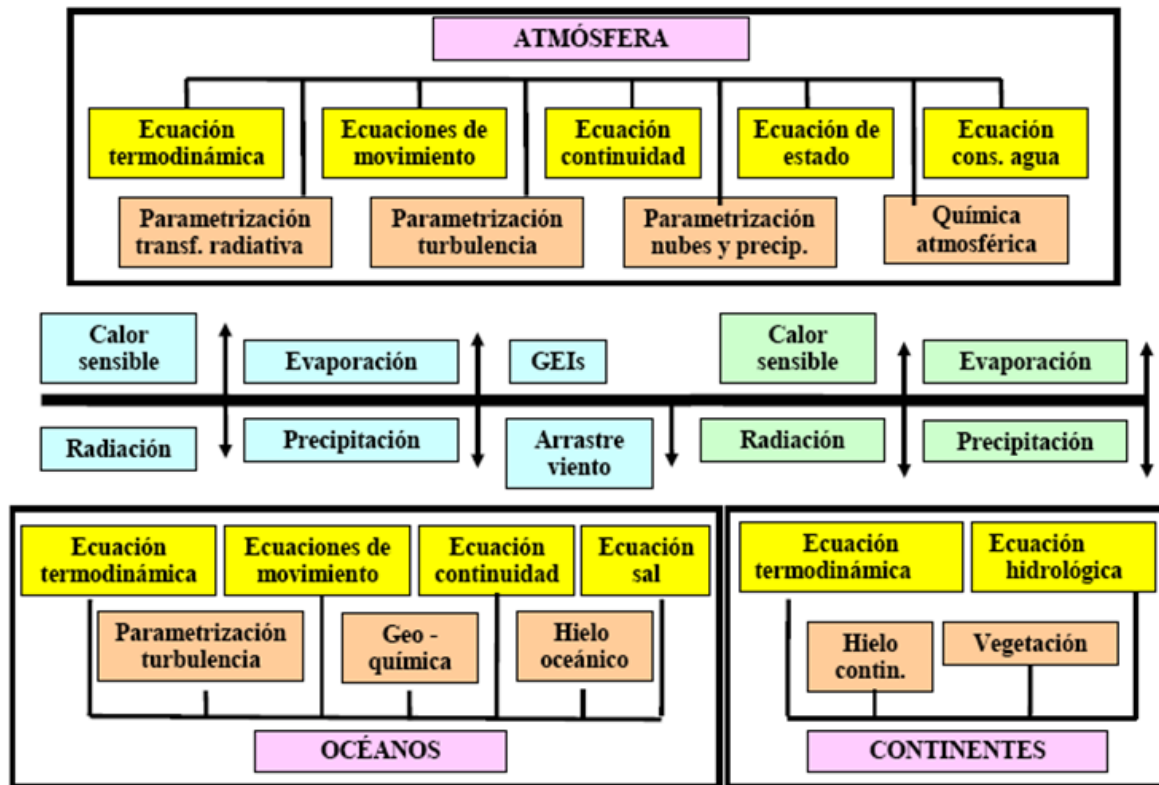


FIGURA 2-2 COMPONENTES DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES.

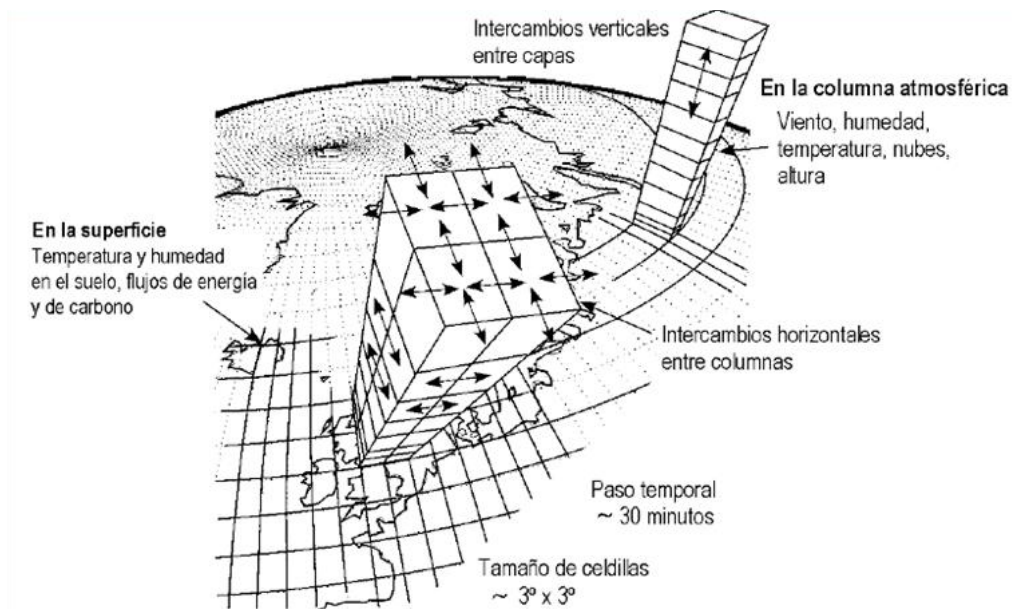


FIGURA 2-3 EJEMPLO DE DISCRETIZACIÓN ESPACIAL 3D ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) DE UN MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (CASTRO, 2007).

“Muchos procesos físicos, como los que están relacionados con las nubes o la convección oceánica, ocurren en escalas espaciales mucho más pequeñas que la rejilla de los modelos y en consecuencia no pueden modelarse y resolverse en forma explícita. Sus efectos medios se incluyen en forma aproximada con un método simple, aprovechando sus relaciones basadas en la física con las variables a mayor escala. Esta técnica se conoce con el nombre de parametrización” (IPCC-WGI, 2007).

“Para poder hacer proyecciones cuantitativas del cambio climático futuro, es necesario utilizar modelos climáticos que simulen todos los procesos importantes que rigen la evolución futura del clima. Los modelos climáticos se han perfeccionado en los últimos decenios gracias al desarrollo de las computadoras. Durante ese período se crearon modelos separados de cada uno de los componentes principales, la atmósfera, la superficie terrestre, los océanos y el hielo marino, que luego se fueron integrando gradualmente. El acoplamiento de los distintos componentes es un proceso difícil. El objetivo final es, por supuesto, incluir en el modelo la mayor parte posible del sistema climático de la Tierra, para que todos los componentes puedan interactuar y para que de esa manera las predicciones del cambio climático puedan siempre tener en cuenta el efecto de las retroacciones entre los distintos componentes” (IPCC-SRES, 2000)

2.2.1 Selección y descripción de los MCG por emplear.

Los resultados de los modelos climáticos utilizados en este estudio se enmarcan dentro del Reporte IV del IPCC del año 2007 (AR4), los cuales se obtuvieron en el “Program for Climate

Model Diagnosis and Intercomparison” (PCMDI), <http://www-pcmdi.llnl.gov/>. Esta colección de resultados de los últimos MCG es producida oficialmente por el programa “World Climate Research Programme (WCRP) Coupled Model Intercomparison Project Phase 3 (CMIP3) multi-model dataset” para el Grupo de Trabajo 1 del IPCC, y contiene los resultados de una nueva generación de modelos acoplados con un enfoque físico de la característica del sistema climático (atmósfera, tierra, océano y el hielo marino) (Meehl, y otros 2007).

Los modelos climáticos disponibles en la base de datos CMIP3 se presentan en la Tabla 2-1

TABLA 2-1 MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES EMPLEADOS EN EL AR4-IPCC (BASE DE DATOS CMIP3)

MODELO	CENTRO, PAÍS	RESOLUCIÓN ATMÓSFERICA (lat x lon)
BCC-CM1	BB, China	1.900°x1.900°
BCCR-BCM2.0	Bjerknes Centre, Norway	1.900°x1.900°
CCSM3	NCAR, USA	1.400°x1.400°
CGCM3.1(T63)	CCCMA, Canadá	1.900°x1.900°
CNRM-CM3	CNRM, Francia	1.900°x1.900°
CSIRO-Mk3.0	CSIRO, Australia	1.900°x1.900°
ECHAM5/MPI-OM	MPIM, Alemania	1.875°x1.875°
ECHO-G	MIUB/KMA, Alemania/Corea	3.900°x3.900°
FGOALS-g1.0	LASG/IAP, China	2.800°x2.800°
GFDL-CM2.0	MOAA/GFDL, USA	2.000°x2.500°
GISS-AOM	NASA/GISS, USA	3.000°x4.000°
GISS-EH	NASA/GISS, USA	4.000°x5.000°
GISS-ER	NASA/GISS, USA	4.000°x5.000°
INM-CM3.0	INM, Rusia	4.000°x5.000°
IPSL-CM4	IPSL, Francia	2.500°x3.750°
MIROC3.2	CCSR/NES/FRCGC, Japón	1.125°x1.125°
MRI-CGCM2.3.2	MRI, Japón	2.800°x2.800°
PCM	NCAR, USA	2.800°x2.800°
UKMO-HadCM3	Hadley Center, UK	2.500°x3.750°
UKMO-HadGEM1	Hadley Center, UK	1.250°x1.250°

De todos los modelos disponibles en la base de datos CMIP3 se seleccionaron los modelos con más alta resolución espacial atmosférica: el ECHAM5/MPI-OM (Max Planck Institute for Meteorology) de Alemania, CCSM3 (National Center for Atmospheric Research) de Estados Unidos, UKMO-HadGEM1 (Hadley Center) de Reino Unido y MIROC3.2 hires (Center for Climate System Research, National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change) de Japón.

La Tabla 2-2 resume la información más relevante de los modelos seleccionados, y muestra los esquemas empleados en cada modelo para la parametrización de la precipitación.

TABLA 2-2 RESUMEN DE LOS ESQUEMAS DE PARAMETRIZACIÓN EMPLEADOS EN LOS MODELOS SELECCIONADOS.

MODELO	CENTRO/PAÍS	RESOLUCIÓN ATMOSFÉRICA	PARAMETRIZACIÓN DE LAS NUBES	PARAMETRIZACIÓN DE LA CONVECCIÓN
CCSM3	NCAR/Estados Unidos	T85(1.4°x~1.4°)	Pronóstico de nubes de convección con diagnósticos de cantidad de nubosidad basados en (Rasch y Kristjansson 1998), (Zhang, y otros 2008) y (Boville, y otros 2005)	Esquema de parametrización desarrolladas por (Zhang y McFarlane 1995) y (Hack 1994)
MIROC3.2-hires	CCSR/NIES/FRCGC/Japón	T106(~1.125°x1.125°)	Pronóstico total de agua esquema basado en (Le Treut y Li 1991) con efecto secundario indirecto de aerosoles basado en (Berry 1967)	Pronóstico de cierre de Arakawa-Schubert, sobre la base de (Pan y Randall 1998) con la condición empírica basada en la represión
ECHAM5/MPI-OM	MPIM/Alemania	1.875°x1.875°	Ecuaciones de pronóstico para la fases de agua (vapor, líquido, hielo), microfísica de nubes (Lohmann y Roeckner 1996) , humedad relativa parametrización de la nubosidad. El esquema de la microfísica incluye los cambios de fase entre los componentes de agua y los procesos de precipitación (autoconversión, acrecentamiento, acumulación). La evaporación, la sublimación de la lluvia, la nieve y el deshielo de la nieve son considerados	Esquema de flujo de masa para la convección superficial, media y profunda (Tiedtke 1989) con modificaciones para la convección profunda de acuerdo a (Nordeng 1994) El sistema se basa en las ecuaciones para el estado de equilibrio de masa, calor, humedad, las nubes y el impulso de un conjunto de corrientes ascendentes y descendentes incluyendo la turbulencia.
UKMO-HadGEM1	UKMO/UK	1.25°x1.25°	Esquema de diagnóstico basado en la función de probabilidad triangular. Parametrizados RH-crítico, suponiendo que la anchura de PDF depende de la variación local de la temperatura y la humedad. Esquema del gradiente vertical de nubes. Microfísica: esquema de fase mixta que incluye pronósticos del contenido de hielo ; resuelve ecuaciones físicas para procesos microfísicos (Martin, y otros 2006)	Esquema de flujo de masa basado originalmente en (Gregory y Rowntree 1990), pero con importantes modificaciones incluido el transporte de momentos en la convección basado en la relación de gradiente de flujo, separando convección profunda y superficial y la inclusión de esquema simple de radiación (Martin, y otros 2006).

2.2.2 Selección y descripción de simulaciones de los MCG.

“Así como existen diferencias de principio entre tiempo y clima, hay también diferencias entre pronosticar el clima y proyectarlo a futuro a través de escenarios. El pronóstico del tiempo es un problema de valor inicial, en el que el resultado, luego de uno o dos días de integración requiere ser evaluado en un contexto determinístico. Bajo tal marco de referencia, entre mejor sea la condición inicial utilizada, mejor será la predicción de tiempo que se realice. Los pronósticos determinísticos no pueden extenderse más allá de dos o tres días, antes de que el nivel de acierto caiga por debajo del umbral que los hace útiles. Las predicciones a más de tres días amplifican los errores de la condición inicial, por lo que dos pronósticos que partan de condiciones iniciales ligeramente diferentes pueden llegar a resultados altamente contrastantes luego de cinco o diez días de integración” (Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM 2008).

No podemos pronosticar el tiempo a largo plazo pero podemos decir cosas útiles sobre el clima. Sobre este respecto, "tiempo es lo que usted tiene, mientras que clima es lo que usted espera" (E. Lorenz). Para explicar lo anterior se puede discernir entre predecibilidad del tiempo y predecibilidad del clima.

“Mientras que las variables del tiempo se asocian con inestabilidad del fluido atmosférico, la representación del clima está relacionado con la componente estable del comportamiento de un fluido. En el corto plazo, la dinámica de la componente inestable de los modelos domina y hace que el error de pronóstico crezca tan rápido (en el plazo de 3 a 7 días) que no es posible ir más allá de ese plazo. Debido a este límite, cualquier esperanza de hacer una predicción del tiempo a largo plazo (más de dos semanas) será siempre un sueño. Sin embargo, las ecuaciones de un modelo de pronóstico también contienen una componente más estable. Esta componente corresponde al "clima"; y con ella se puede hacer un mejor trabajo de predicción.

Son varios los elementos que se deben tomar en cuenta para proyectar el clima en escalas estacionales o anuales, o para generar escenarios de cambio climático. Uno de los de mayor importancia en materia de modelación numérica del clima ha sido el reconocer que las predicciones o proyecciones del clima sólo pueden darse en un sentido probabilístico que refleje la naturaleza del sistema climático. Por ello, un pronóstico del clima se debe construir con varios experimentos numéricos que partan de condiciones iniciales ligeramente diferentes. El conjunto de todos los experimentos constituye un ensamble, que permite establecer la condición más probable” (Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM 2008).

Mediante el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento y la aplicación de diversos métodos de cálculo numérico pueden obtenerse soluciones aproximadas del sistema de ecuaciones de un MCG. De la integración en el tiempo de este sistema se obtiene como solución la evolución temporal y espacial (tridimensional) del sistema climático, en función de las condiciones iniciales y de contorno elegidas y de los valores de ciertos parámetros climáticos (p.e. concentración de CO₂ atmosférico). Esto se denomina experimento numérico, simulación climática ó experimento climático.

Los experimentos climáticos pueden orientarse tanto a la descripción del clima contemporáneo (experimentos de control), como a la investigación del clima resultante de uno o más cambios en los parámetros climáticos (ejemplo: simulación del efecto de una duplicación de la actual concentración de CO₂). La comparación de los resultados de estas simulaciones permite estimar los cambios climáticos que la variación de estos factores ambientales produciría.

La ejecución de los modelos de cambio climático consta de tres partes: spin-up y control, el periodo de validación y finalmente la creación de los escenarios. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Castro, 2007) muestra las etapas de intervención de cada simulación para la ejecución del modelo.

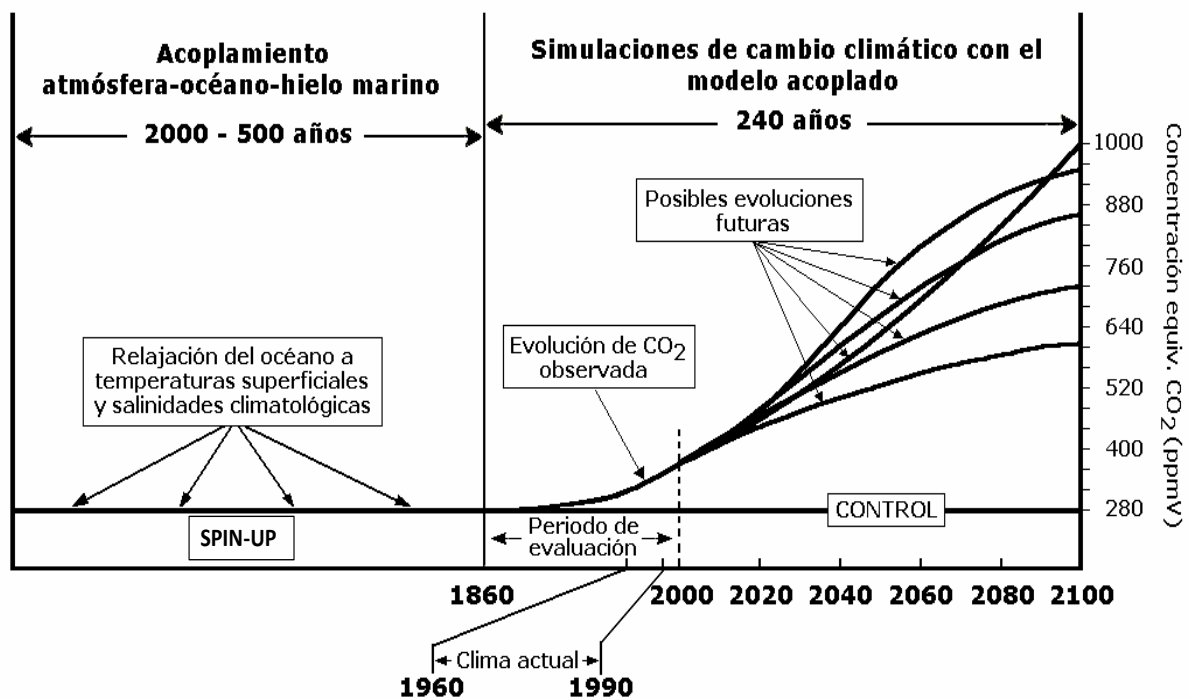


FIGURA 2-4 ETAPAS DE INTERVENCIÓN DE CADA SIMULACIÓN PARA LA EJECUCIÓN DEL MODELO. (CASTRO, 2007)

■ SPIN-UP y CONTROL:

Simulación de cientos de años con [CO₂] = 280 ppmV constante hasta que océano - atmósfera-hielo se acoplan (SPIN-UP). Una simulación continua así hasta el año 2100 (CONTROL) para examinar la variabilidad interna del modelo.

■ PERIODO de EVALUACION

Otra simulación de 1860 a 2000 con el incremento observado de gases de efecto invernadero y sulfatos para evaluar la capacidad del modelo de reproducir la

tendencia observada de la temperatura global. El “clima actual” (1960-90) se toma como referencia para derivar escenarios de cambio climático.

■ ESCENARIOS

Simulaciones desde 2000 suponiendo diversas evoluciones de emisiones de gases de efecto invernadero y sulfatos. Para construir los escenarios se calcula la diferencia entre la simulación de “clima actual” y la de cualquier periodo futuro.

Para la elaboración de escenarios de cambio climático es necesario el uso de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, etc.). El IPCC utiliza el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en ingles, (IPCC-SRES 2000)). A partir de los escenarios de emisiones es posible calcular las concentraciones globales de gases efecto invernadero y el forzamiento radiactivo correspondiente, lo que lleva a una proyección del incremento de la temperatura global. Estos escenarios consideran una gama de posibles condiciones de desarrollo global para los próximos 100 años y son, en un sentido más amplio, escenarios del estado y crecimiento de la población y la economía.

“Hay dos grandes familias de escenarios. Los escenarios “A” describen un mundo futuro con alto crecimiento económico, mientras que en los “B” ese crecimiento es más moderado. Los A1 y B1 suponen que habrá una globalización tal que las economías convergerán en su desarrollo. En los A2 y B2, se considera que el desarrollo se dará más a nivel regional. Estos escenarios parten de un conjunto de suposiciones acerca de la evolución de los forzantes (población, tecnología, economía, uso del suelo, agricultura y energía) a nivel global y regional. El escenario A1B se basa en la utilización equilibrada de todo tipo de fuentes; entendiéndose por equilibrada la situación en que no dependerá excesivamente de un tipo de fuente de energía, en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares” (IPCC, 2000).

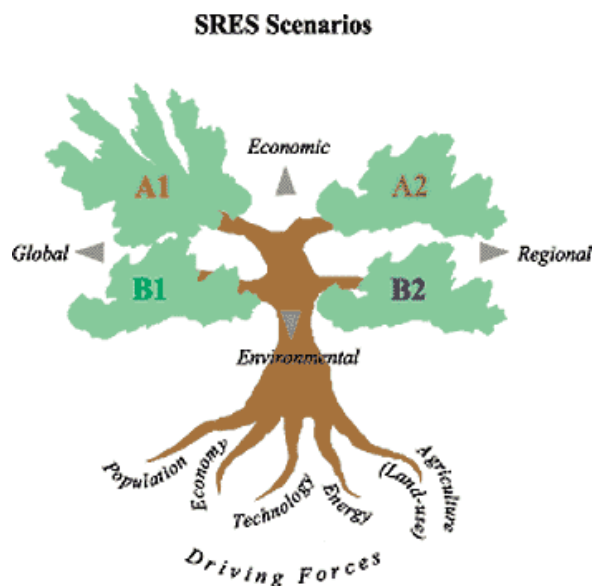


FIGURA 2-5 ESCENARIOS DE EMISIONES SEGÚN EL REPOSTE ESPECIAL (IPCC-SRES 2000) PARA EL IPCC.

Escenario	Población	Economía	Medio ambiente	Equidad	Tecnología	Mundialización
A1FI						
A1B						
A1T						
B1						
A2						
B2						

FIGURA 2-6 ESQUEMA DEL DESARROLLO DE LOS POSIBLES FORZANTES SEGÚN EL ESCENARIO CONSIDERADO.

“El concepto de escenario no debe confundirse con el de pronóstico, ya que el objeto de cada uno de ellos es diferente, así como las causas, el manejo y la comunicación de la incertidumbre apropiadas en cada caso. De acuerdo con el IPCC, los escenarios climáticos se definen como “una representación posible y simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas que ha sido construida expresamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que en muchas ocasiones sirve como materia prima para modelos de impacto” (IPCC-WGI 2007).

Los escenarios presentados en el IV. Reporte de Evaluación (AR4) del Panel Intergubernamental para Cambio Climático (IPCC-WGI 2007), se centran en proyecciones regionales de temperatura y precipitación. Sin embargo, la estructura regional se desarrollo para extensiones de nivel casi continental, como fue Norte América, Europa o África. En la Tabla 2-3 se presenta la descripción de 12 experimentos los cuales están disponibles en la base de datos CMIP3.

Normalmente, los estudios de cambio climático utilizan distintos modelos de clima y un conjunto de escenarios de emisión para reflejar el rango de incertidumbre causado por las diferentes suposiciones que se adoptan en cuanto al cambio en las emisiones de gases efecto invernadero, el cambio tecnológico, población y grado de desarrollo económico, entre otros. Así cada escenario representa una alternativa de cómo se podría comportar el clima futuro.

Para este trabajo se empleo la simulación 20C3M para la validación de los 4 MCG seleccionados anteriormente y para la construcción y análisis de las curvas IDF se seleccionaron dos escenarios SRES: el A2, escenario pesimista, y el B1, un escenario optimista.

TABLA 2-3 EXPERIMENTOS DISPONIBLES EN LA BASE DE DATOS CMIP3 CORRIDOS PARA EL AR4 DEL IPCC.

	SIGLAS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	
1	PICTL	Pre-Industrial Simulación de control	Los experimentos se ejecutan con constantes los niveles preindustriales de gases de efecto invernadero	Experimento de control para simulación 3-7 y también en algunos modelos para el control de los experimentos 8-9. No hay forzamientos antropogénicos o naturales. El experimento de control debe ser lo suficientemente largo como para abarcar el punto más lejano en el tiempo que no está perturbado. Por lo tanto, el control nos permite extraer cualquier residuo, las tendencias de no forzamiento de todas las simulaciones de perturbación.
2		Simulación de control - Presente		Para la mayoría de los modelos esta simulación no es necesaria, pero para algunos es el control de los experimentos 8-9. No hay forzamientos naturales y antropogénicos se fija en el nivel actual. El experimento de control debe ser lo suficientemente largo como para abarcar el punto más lejano en el tiempo que no está perturbado. Por lo tanto, el control nos permite extraer cualquier residuo, las tendencias de no forzamiento de todas las simulaciones de perturbación.
3	20C3M	Simulación del clima del siglo XX	Los experimentos se ejecutan con el aumento de los gases de efecto invernadero tal como se observa a través del siglo XX	Debe inicializarse a partir de un punto con suficiente antelación en la simulación pre-industrial de control.
4	COMMIT	Simulación comprometido el cambio climático	Un escenario idealista en el que la carga atmosférica de gases de efecto invernadero se mantienen fija	Con la simulación 20C3M como su condición inicial
5	SRES A2	Escenario SRES A2	Un mundo heterogéneo, autosuficiente y que mantiene las identidades locales. Las tasas de crecimiento de la población convergen lentamente, lo cual resulta en un elevado crecimiento de la población. Crecimiento económico per cápita es más lento y fragmentado que en otras familias.	Con la simulación 20C3M como su condición inicial

ESTIMACIÓN HIDROLÓGICA BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

	SIGLAS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	
6	SRES A1B	Escenario 721 ppm de estabilización (A1B del SRES)	Un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, bajo crecimiento de la población y una rápida introducción de nuevas y más eficiente tecnología. Principales temas son la convergencia económica y cultural y la creación de capacidad. En este mundo, las personas persiguen la riqueza personal en lugar de la calidad ambiental	Inicializar las condiciones a partir del final de la simulación de 20C3M y correr a 2100, después de lo cual tienen concentraciones fijas y continuar correr a 2200. Un miembro del grupo debe prorrogarse por otros 100 años (hasta 2300), continuando celebrar concentraciones fijas
7	SRES B1	Escenario 551 ppm de estabilización (SRES B1)	Es un mundo convergente, con bajo crecimiento de la población y con rápidos cambios en las estructuras económicas. Ocurre un movimiento hacia una economía basada en los servicios y en la tecnología de la información y se reduce la intensidad en el uso de materiales, y se introducen tecnologías limpias y eficientes. El énfasis es en soluciones globales para la sostenibilidad ambiental, económica y social, incluyendo aumentos en la equidad.	Inicializar las condiciones a partir del final de la simulación de 20C3M y correr a 2100, después de lo cual tienen concentraciones fijas y continuar correr a 2200. Un miembro del grupo debe prorrogarse por otros 100 años (hasta 2300), continuando celebrar concentraciones fijas
8	1PTO2X	Simulación 1% / año de CO2 aumento (duplicar)	Los experimentos se ejecutan con el aumento de los gases de efecto invernadero de los niveles preindustriales, a razón de 1% por año hasta que la concentración se ha duplicado y se mantiene constante después	Esta simulación debe iniciarse en un punto dentro de la simulación actual de control ó de la PICTL. Asegurándose de que el tiempo inicial es temprano en la simulación de control para sustraer cualquier tendencia residual (no forzamiento) que pueda ocurrir en los 220 años de este experimento
9	1PTO2X	Simulación 1% / año de CO2 aumento (cuadruplicar)	Los experimentos se ejecutan con el aumento de los gases de efecto invernadero de los niveles preindustriales, a razón de 1% por año hasta que la concentración se ha cuadruplicado y se mantiene constante después	Esta simulación debe iniciarse en un punto dentro de la simulación actual de control ó de la PICTL. Asegurándose de que el tiempo inicial es temprano en la simulación de control para sustraer cualquier tendencia residual (no forzamiento) que pueda ocurrir en los 290 años de este experimento
10		Simulación de la base oceánica experimento de control		Base oceánica de control para el experimento 11. Asegurándose de ejecutar durante el tiempo suficiente largo para alcanzar un verdadero estado de equilibrio y producir las estadísticas estables (por lo menos 20 años después de encontrar el equilibrio)

	SIGLAS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
11		Simulación de equilibrio 2xCO2	Hay interés en la respuesta transitoria del fondo del océano a la duplicación instantánea de CO2, se debe asegurar ejecutar durante el tiempo suficiente largo para alcanzar un verdadero estado de equilibrio y producir las estadísticas estables (por lo menos 20 años después de encontrar el equilibrio)
12	AMIP		Componente de la atmósfera debe ser idéntico al utilizado en las anteriores experiencias