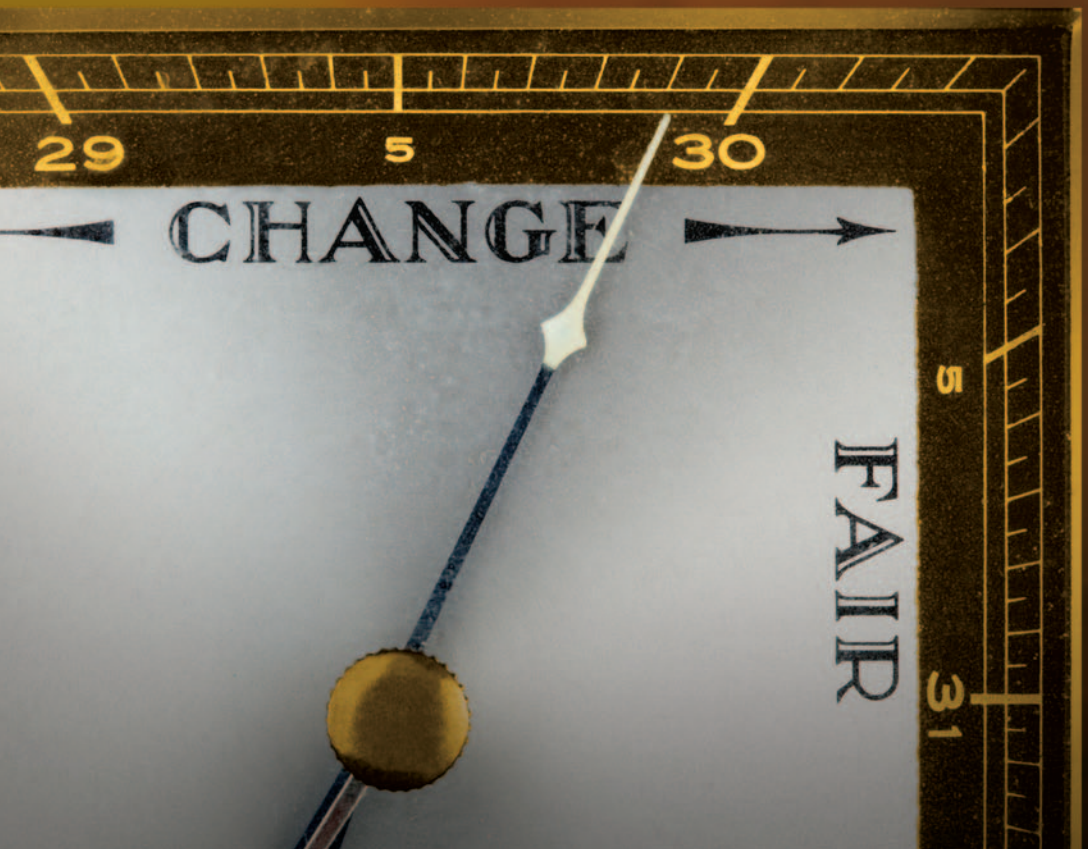
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima

Una Guía para Practicantes



El PNUD es la red global de desarrollo de las Naciones Unidas, fomentando el cambio y conectando a los países con el conocimiento, la experiencia y los recursos para ayudar a que la gente tenga una mejor vida. Estamos presentes en 166 países, trabajando con ellos en sus propias soluciones a los desafíos globales y nacionales de desarrollo. Conforme desarrollan su capacidad local, se apoyan en los funcionarios del PNUD y en nuestro amplio rango de asociados.

abril de 2011

Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Todos los derechos reservados. Esta publicación, o partes de ella, no podrán ser reproducidas, almacenadas por medio de cualquier sistema o ser transmitida, de forma alguna o mediante cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopiado, grabado o por cualquier otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Las opiniones y recomendaciones expresadas en este informe son aquellas de sus autores y no necesariamente representan aquellas del PNUD, las Naciones Unidas o sus Estados Miembros. Las fronteras y nombres mostrados y las designaciones utilizadas en los mapas no implican un respaldo oficial o aceptación por las Naciones Unidas. Solamente se toma responsabilidad por errores de omisión o de comisión.

Diseño: Anvil Creative Group (NY, www.anvilcreativegroup.com)

Contenido

PRÓLOGO v

RESUMEN 1

Propósito de la Guía 3

Público Destinatario 4

Marco del PNUD para el Desarrollo de Escenarios Climáticos 4

Estructura del Informe 6

CAPÍTULO 1: PASOS PRELIMINARES EN EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS 7

Evalúe y Determine las Necesidades de Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 1)

Construya un Equipo Interdisciplinario para Desarrollar Escenarios Climáticos (Paso 1.1) 9

Determine las Necesidades de Escenarios Climáticos (Paso 1.2) 10

Evalúe Conexiones y Necesidades de Escenarios Climáticos (Paso 1.3) 13

Formule un Plan e Identifique los Recursos Existentes (Paso 1.4) 14

CAPÍTULO 2: EL PAPEL DE LAS LIMITACIONES REGIONALES EN EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS 17

Identifique Limitaciones Regionales y Desarrolle un Plan Realista para el Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 2)

Evalúe las Limitaciones Regionales (Paso 2.1) 20

Identifique las Limitaciones Científicas (Paso 2.2) 21

Identifique las Limitaciones No Científicas (Paso 2.3) 23

Evalúe la Combinación de Limitaciones Científicas y No Científicas (Paso 2.4) 23

CAPÍTULO 3: INCERTIDUMBRE Y DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS 25

Comprenda la Incertidumbre y construya un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3)

Repase las Principales Fuentes de Incertidumbre en las Predicciones de Modelo (Paso 3.1) 27

Seleccione Escenarios de Emisiones para Crear un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3.2) 29

Considere Otra Incertidumbre al Construir un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3.3) 30

Tome Decisiones Informadas a Pesar de las Incertidumbres en los Escenarios Climáticos (Paso 3.4) 32

CAPÍTULO 4: MÉTODOS PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS 33
Desarrolle y Documente los Escenarios Climáticos (Paso 4)

Revise los Procedimientos Generales para el Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 4.1) 35

Escoja un Modelo de Cambio Climático (Paso 4.2) 35

Documente el Proceso de Desarrollo de Escenario Climático (Paso 4.3) 46

CAPÍTULO 5: CONCLUSIÓN 47

ANEXO — ESTUDIOS DE CASO DE REDUCCIÓN A ESCALA 51

Estudio de caso 1: Reducción a Escala de Escenarios Climáticos Futuros Basados en GCM: Segunda Comunicación Nacional de Argentina a la CMNUCC 53

Estudio de caso 2: Reducción a Escala en Uruguay: Combinando un Enfoque de Modelo de Clima Regional con una Reducción a Escala para Apoyar a las LECRDs 56

Estudio de caso 3: Reducción a Escala en Precipitaciones para África Meridional: Evaluando Escenarios Futuros de Precipitación a Través del Desarrollo Regional de Escenarios Climáticos 59

REFERENCIAS 61

FIGURAS

Figura 1: Marco del PNUD para desarrollo de escenarios climáticos para apoyar estrategias de desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima 5

Figura 2: Preguntas clave para determinar el propósito y las necesidades para el desarrollo de escenarios climáticos 10

Figura 3: Ejemplos de aplicaciones objetivas para escenarios climáticos 14

Figura 4: Preguntas clave para determinar un plan realista de acción para el desarrollo de escenarios climáticos en LECRDs 20

Figura 5: Influencia de la geografía física (por ejemplo, geomorfología, hidrología, ecología y climatología) en la resolución espacio-temporal de escenarios climáticos 22

Figura 6: Interrelación entre limitaciones no científicas (de datos, financieras, informáticas o de personal), complejidad de análisis y resolución espacio-temporal para el desarrollo de escenarios climáticos 24

Figura 7: Fuentes principales de incertidumbre relevante cuando se desarrollan escenarios climáticos 28

Figura 8: Relaciones entre la complejidad de análisis y la resolución para dos escenarios hipotéticos de limitaciones de datos, financieras, informáticas y de personal en el desarrollo de escenarios climáticos 31

Figura 9: Diagrama esquemático de las tres principales técnicas de reducción a escala como parte del proceso de desarrollo de escenarios climáticos 38

Figura A-1: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos en la SCN argentina en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal y limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos 53

Figura A-2: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos para las LECRDs de la región de Montevideo en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal, y limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos 56

Figura A-3: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos para África Meridional en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal y limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos 59

TABLAS

Tabla 1: Documentos de orientación sobre el desarrollo de escenarios climáticos 4

Tabla 2: Resumen de los miembros clave para el equipo de desarrollo de escenarios climáticos 9

Tabla 3: Hoja de trabajo sugerida para determinar las necesidades y el propósito de escenarios climáticos 12

Tabla 4: Directrices para determinar las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos 12

Tabla 5: Hoja de trabajo sugerida para determinar el mejor enfoque para el desarrollo de escenarios climáticos 21

Tabla 6: Enfoque temporal y espacial analógico 36

Tabla 7: Enfoque de cambio arbitrario 37

Tabla 8: Resumen de las ventajas y desventajas del factor de cambio y métodos de reducción a escala no inteligentes 40

Tabla 9: Resumen de técnicas dinámicas de reducción a escala 43

Tabla 10: Hoja de trabajo sugerida para evaluar la viabilidad de los enfoques de reducción a escala 43

Tabla 11: Técnicas de reducción a escala estadística 45

RECUADROS

Recuadro 1: Fundamentos del modelo de clima global 15

Recuadro 2: Distinción entre los GCM y los escenarios climáticos de alta resolución: un caso para la reducción a escala 15

Recuadro 3: Datos clave para el desarrollo de escenarios climáticos 19

Recuadro 4: Casos hipotéticos para el desarrollo de escenarios climáticos 30

Recuadro 5: Aplicación en la práctica de la reducción a escala estadística para ilustrar las limitaciones potenciales del enfoque 45

Acronyms and Abbreviations

AR4	Cuarto Informe de Evaluación (IPCC)
AR5	Quinto Informe de Evaluación (IPCC)
CIMA	Centro de Investigación del Mar y la Atmósfera
CRU	Unidad de Investigación Climática de Gran Bretaña
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos
ENSO	El Niño-Oscilación del Sur
GCM	Modelo de Clima Global/ Modelo de Circulación General
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
km	kilómetros
km^2	kilómetros cuadrados
LECRDs	Estrategias de Desarrollo Bajas en Emisiones y Adaptadas al Clima
NCEP	Centros Nacionales de Predicción del Clima de los Estados Unidos
NCAR	Centro Nacional de Investigación de la Atmósfera de los Estados Unidos
NC	Comunicaciones Nacionales
RCM	Modelo Regional de Clima
RCP	*Representative Concentration Pathways*
SNC	Segunda Comunicación Nacional
SRES	Informe Especial sobre Escenario de Emisiones del IPCC (IEEE)
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
WRF	Modelo de investigación y predicción meteorológica

Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima

Una Guía para Practicantes

Esta guía forma parte de una serie de manuales, guías y conjuntos de herramientas que se basa en la experiencia e información generadas por los proyectos de apoyo del PNUD para la adaptación y mitigación, así como en las Comunicaciones Nacionales a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC) en más de 140 países a lo largo de la década pasada. Con ellas se pretende capacitar a directores de proyectos, Oficinas de País del PNUD y a los responsables gubernamentales en la toma de decisiones, a fin de familiarizarlos con una variedad de metodologías más apropiadas a sus contextos de desarrollo en apoyo a la preparación de estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima (LECRDs). De una manera flexible y no prescriptiva, ellas ofrecen una guía paso a paso hacia la identificación de los principales protagonistas y el establecimiento de marcos participativos de planificación y de coordinación; generación de perfiles de cambio climático y escenarios de vulnerabilidad; identificación y priorización de opciones de mitigación y de adaptación; evaluación de requerimientos de financiación; y desarrollo de una hoja de ruta para el desarrollo de proyectos bajos en emisiones y adaptados al clima, instrumentos de políticas y flujos financieros. Esta publicación se enfoca en la formulación de escenarios de cambio climático como una herramienta para informar estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima.

Autores principales: Michael J. Puma, Investigador Científico Asociado, *Center for Climate Systems Research, Columbia University/NASA Goddard Institute for Space Studies,* y Pasohen Gold, Principal Asesor Técnico y de Políticas, *Environment and Energy Group (EEG), Bureau for Development Policy (BDP), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo* (PNUD), Nueva York

Revisores Internos: Yannick Glemarec, Director de Financiación del Medio Ambiente/PNUD-FMAM Coordinador Ejecutivo (PNUD/BDP/EEG), Pradeep Kurukulasuriya, Asesor Técnico Principal (PNUD/BDP/EEG), y Yamil Bonduki, Coordinador, *National Communications Support Programme* (PNUD/BDP/EEG)

Editor (inglés): Caitlin Connelly

Traductor (español): Rodrigo Sandoval
Editor (español): Luis A. Gómez López

Este documento deberá referenciarse como: Puma MJ and Gold S. 2011. *Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima. Una Guía para Practicantes,* Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Nueva York, NY, Estados Unidos.

Prólogo

El cambio climático representa un desafío característico de nuestros tiempos y es una de las más apremiantes amenazas actualmente para el desarrollo. Las poblaciones más pobres y más vulnerables del mundo son las que muy probablemente tendrán que soportar los impactos más difíciles y sufrir desproporcionadamente los efectos negativos de los cambios climáticos. A fin de servir de mejor manera las necesidades de las comunidades en riesgo, debemos tratar el cambio climático a través de una lente de desarrollo (y viceversa).

Hacer frente a los posibles impactos del cambio climático está dando muestras de ser enteramente compatible con la consecución del desarrollo sostenible y con el logro de las Metas de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas. Nuestra experiencia en el PNUD a lo largo de las últimas dos décadas, indica que la combinación correcta de políticas, destrezas e incentivos puede influenciar las conductas y alentar las inversiones en actividades de desarrollo respetuoso del clima. A fin de facilitar esto, el PNUD aumenta la capacidad de los países en el desarrollo de acciones para formular, financiar e implementar los planes nacionales y subnacionales bajos en emisiones y adaptados al clima que alinean los esfuerzos de gestión climática con las metas de desarrollo y que promocionan las sinergias entre el desarrollo y la financiación climática.

Una tarea clave al momento de formular estos planes es el desarrollo de escenarios climáticos. Éste es el tema de la presente publicación del PNUD, *Formulando Escenarios de Cambio Climático para Contribuir con Estrategias de Desarrollo Adaptadas al Clima: Una Guía para Practicantes,* la cual guía a los administradores de proyectos y a sus equipos de expertos en sus esfuerzos por evaluar la necesidad de escenarios climáticos, identificar las limitaciones existentes (debido a limitaciones financieras, informáticas, de personal y científicas), y evaluar y seleccionar diversos enfoques para generar un rango de escenarios climáticos prospectivos.

Esta guía se basa en un gran rango de iniciativas continuas del PNUD para apoyar la adaptación al cambio climático y forma parte de una serie de documentos prácticos de dirección y conjuntos de herramientas que están siendo desarrollados para apoyar la preparación de estrategias bajas en emisiones y adaptadas al clima — LECRDs. Esta serie pretende empoderar a quienes toman las decisiones a que tomen acción, y a prepararlos a que sus territorios se adapten, y posiblemente prosperen, bajo condiciones climáticas cambiantes.

Yannick Glemarec
Director de Financiación del Medio Ambiente/Coordinador Ejecutivo PNUD-FMAM

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Dirección de Políticas de Desarrollo
Grupo sobre Energía y Medio Ambiente

Resumen

- Propósito de la Guía
- Público Destinatario
- Marco del PNUD para el Desarrollo de Escenarios Climáticos
- Estructura del Informe

Resumen

"Los escenarios climáticos pueden ofrecer información importante acerca del clima futuro posible en la región. Esta información puede ser utilizada para abordar los potenciales impactos adversos del cambio climático de una manera que promocione el desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima."

El cambio climático es una cuestión apremiante de nuestros tiempos que amenaza a la sociedad global. Sus impactos atraviesan a varios sectores y amenazan los medios de vida y ecosistemas de las comunidades a lo largo de todo el mundo. Desafía a los responsables a todo nivel — internacional, regional, nacional y subnacional — a priorizar esta amenaza y a desarrollar soluciones creativas e integradas. Estas soluciones deben tratar tanto las cuestiones urgentes de desarrollo a las que se enfrentan los países, así como ayudar a responder los riesgos del cambio climático. Hacerles frente a estas cuestiones simultáneamente permite enfoques con buena relación de costo-efectividad y una mitigación y adaptación holísticas que son sensibles a los recursos financieros disponibles, cada vez más escasos, y a la urgencia de las cuestiones en relación con la prosperidad humana y económica.

Conforme aumenta la sensibilización, también lo hace la necesidad de fortalecimiento de capacidades y de capacitación. En muchos casos, las comunidades se inhiben no por falta de disposición, sino por una falta de pericia y de conocimiento que les previene de efectivamente planificar y de instaurar iniciativas y políticas necesarias. Existe el deseo de cambios positivos, empero la habilidad de lograrlo queda rezagada. Por tanto, la provisión de dirección y la transferencia del conocimiento son esenciales conforme los países se preparan para enfrentar y superar los impactos del cambio climático. Con las herramientas apropiadas, los responsables estarán mejor equipados para integrar el desarrollo y el cambio climático y para producir planes efectivos de gestión del riesgo.

Los escenarios climáticos pueden ofrecer información importante acerca del clima futuro en una región. Esta información puede ser utilizada para abordar los impactos potencialmente adversos del cambio climático de una manera que promocione el desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima. Sin embargo, pronosticar el clima futuro de una región — el patrón promedio del clima a lo largo de un período de tiempo (por ejemplo, 30 años) — es incierto. Existen métodos múltiples para producir escenarios probables; algunos solamente ofrecen resultados de baja resolución ("burdos"), mientras que otros (por ejemplo, las técnicas de reducción a escala) producen resultados de alta resolución.

Se deben determinar los métodos de desarrollo de escenarios climáticos mediante el uso pretendido de los escenarios y balancearse contra las limitaciones a las que se enfrentan los responsables. Dentro del contexto de las estrategias bajas en emisiones y adaptadas al clima (LECRDs), los escenarios climáticos podrían requerir de resoluciones espaciales y temporales altas a fin de informar de forma adecuada las evaluaciones de vulnerabilidad, de adaptación y de mitigación, las cuales desempeñan un papel preponderante en la determinación de cómo protegerse contra del clima cambiante y de prosperar en él. El nivel y la naturaleza de la vulnerabilidad hacia el cambio climático — la susceptibilidad de una región en cuanto se refiere a los efectos potencialmente adversos del cambio climático (incluyendo cambios en la variabilidad climática y sus extremos) — fue tratada en un documento de orientación publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners* (PNUD, 2010; documento en inglés).

La construcción de escenarios climáticos no está exenta de desafíos. Se puede escoger el método apropiado para el desarrollo de escenarios climáticos solamente luego de realizar una cuidadosa evaluación de los enfoques disponibles contra las necesidades (aplicación) y las limitaciones (por ejemplo, financieras, informáticas, de personal, científicas, etc.) a las que se enfrentan los administradores de proyectos y sus equipos. Los equipos deben incluir un rango de pericias a fin de lograr tareas tales como la recolección de datos, la informática y el análisis de insumos/resultados. Estas habilidades son a menudo limitadas en regiones en desarrollo en donde la necesidad para tales destrezas es mayor y los recursos son más restringidos.

El PNUD se encuentra respondiendo a las brechas informativas existentes mediante la provisión de guías y conjuntos de herramientas para su desarrollo paso a paso. El marco que se presenta en esta guía pretende ayudar a los administradores de proyectos y a sus equipos en el desarrollo de escenarios climáticos a fin de satisfacer las necesidades de las LECRDs así como de otras evaluaciones. Este informe es parte de una serie de publicaciones del PNUD para responsables que se encuentra disponible en línea en www.undp.org/energyandenvironment/climatestrategies.

Propósito de esta Guía

Este documento de orientación representa una nueva contribución a la serie de documentos del PNUD acerca de estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima. Pretende fortalecer las capacidades de los responsables para tener éxito en las siguientes tareas:

- Evaluar las necesidades y usos para el desarrollo de escenarios climáticos
- Identificar limitaciones en el desarrollo de escenarios climáticos (por ejemplo, financieras, informáticas, de personal, científicas) y determinar las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos a la luz de dichas limitaciones
- Evaluar los enfoques existentes, para generar un rango prospectivo de escenarios climáticos, contra las necesidades identificadas, y crear un equipo sólido
- Desarrolle y documente los escenarios climáticos

Ofrece a los administradores de proyectos y a sus equipos un marco para el desarrollo de un rango prospectivo de escenarios climáticos

Público Destinatario

El público destinatario para esta guía son los administradores de proyectos y los responsables que trabajan con un equipo de científicos y de expertos técnicos y que están buscando una comprensión de cómo gestionar el desarrollo de escenarios climáticos para sus regiones. Esta guía pretende empoderar a que los administradores de proyectos y los responsables participen en debates de desarrollo de escenarios climáticos, incluyendo su participación en decisiones basadas en la ciencia acerca de la disponibilidad, aplicabilidad y solidez de varios enfoques de escenarios climáticos. La Tabla 1 presenta un listado de recursos adicionales, algunos más de tipo científico, para el desarrollo de escenarios.

Tabla 1: Documentos de orientación sobre el desarrollo de escenarios climáticos

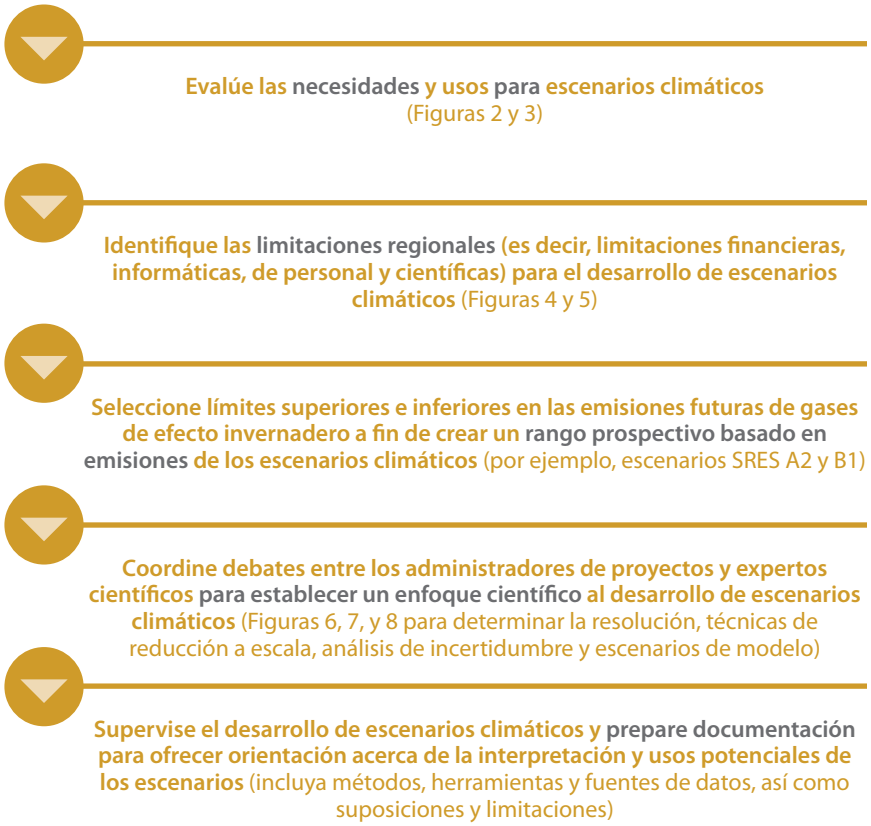
Título (original en Inglés)	Autor
UNDP-UNEP-GEF* National Communication Support Programme	
Guidance on the Development of Regional Climate Scenarios for Application in Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment	Lu, 2006
Applying Climate Information for Adaptation Decision Making: A Guidance Resource Document	Lu, 2007
IPCC* Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis	
Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments	Mearns et al., 2003
General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impacts and Adaptation Assessment, Version 2	Carter, 2007
Otros	
Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections.	Knutti et al, 2010
A Framework for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low-Flow Scenarios for the River Thames	Wilby et al, 2004

* United Nations Environment Programme (UNEP); Global Environment Facility (GEF); Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Marco del PNUD para el Desarrollo de Escenarios Climáticos

El marco del PNUD para el desarrollo de escenarios climáticos pretende orientar a los administradores de proyectos a través del proceso de desarrollo de escenarios, ayudarlos a identificar las razones que impulsan el desarrollo de escenarios (es decir, el porqué), y a clarificar sus necesidades de escenarios climáticos (por ejemplo, qué, cuándo, dónde). Una parte crítica de este proceso es ayudar a que los responsables identifiquen sus limitaciones (por ejemplo, financieras, informáticas, de personal, científicas, etc.) y comprendan la interrelación entre ellas para contar con un mejor enfoque del desarrollo de escenarios climáticos, en particular en relación con la asignación de recursos. La Figura 1 presenta este marco.

Figura 1: Marco del PNUD para el desarrollo de escenarios climáticos para apoyar estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima



"Establece que los administradores de proyectos deberían idealmente trabajar en conjunto con un equipo de científicos y de expertos técnicos a fin de manejar esta incertidumbre, seleccionar métodos de escenarios apropiados y construir un rango prospectivo de escenarios que contribuirá con las estrategias de inversión y facilitará la transición hacia un desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima."

En apoyo a este proceso de fortalecimiento de capacidades, el marco trata el papel que desempeña la incertidumbre dentro del desarrollo de escenarios climáticos. Establece que los administradores de proyectos deberían idealmente trabajar en conjunto con un equipo de científicos y de expertos técnicos a fin de manejar esta incertidumbre, seleccionar métodos de escenarios apropiados y construir un rango prospectivo de escenarios que contribuirá con las estrategias de inversión y facilitará la transición hacia un desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima.

El marco propuesto aborda además las deficiencias que son comunes a muchos esfuerzos. Por ejemplo, los administradores de proyectos que supervisan el desarrollo de escenarios climáticos típicamente cuentan con una experiencia limitada en ciencias del clima, y los expertos científicos, quienes tienen la responsabilidad de producir los escenarios climáticos, podrían no entender plenamente las limitaciones no científicas del proyecto o las necesidades del usuario final. Cuando se abordan a través de líneas de comunicación mejoradas, estas deficiencias pueden fortalecer el proceso y los resultados. El marco ofrece una plataforma que debería alentar un diálogo claro y frecuente entre los miembros del equipo a fin de compartir el conocimiento y optimizar el desarrollo de escenarios climáticos.

Finalmente, el marco enfatiza la necesidad de documentar el proceso entero del desarrollo de escenarios climáticos para ayudar a que los administradores de proyectos y sus miembros de equipo respondan a las preguntas que podrían formular los planificadores y los responsables. Esta información también podría ayudar a informar a los análisis climáticos posteriores.

Resumen de los Pasos Clave

PASO 1

EVALÚE Y DETERMINE LAS NECESIDADES DE DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 2

IDENTIFIQUE LAS LIMITACIONES REGIONALES Y DESARROLLE UN PLAN REALISTA PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 3

COMPRENDA LA INCERTIDUMBRE Y CONSTRUYA UN RANGO PROSPECTIVO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 4

DESARROLLE Y DOCUMENTE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Estructura del Informe

El Resumen fija el contexto del desarrollo de escenarios climáticos y enfatiza la importancia de identificar las necesidades y usos de escenarios climáticos, así como las limitaciones (por ejemplo, financieras, informáticas, de personal, científicas, etc.) que deberían considerar los administradores de proyectos y sus equipos de expertos al momento de seleccionar uno o varios enfoques de escenarios climáticos. Adicionalmente, perfila el marco propuesto por el PNUD para el desarrollo de escenarios climáticos como parte de las estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima.

Los Capítulos 1-4 presentan una orientación paso a paso para el desarrollo de escenarios climáticos siguiendo el marco propuesto por PNUD. En el Capítulo 1, el **primer paso** ofrece orientación acerca de cómo construir un equipo sólido de desarrollo de escenarios climáticos. Ofrece además un vistazo acerca de cómo evaluar las necesidades y los usos para el desarrollo de escenarios climáticos a través de un ejercicio de alcance. Más aun, ofrece un enfoque a fin de identificar limitaciones y formar una estrategia realista para el desarrollo de escenarios climáticos dados las limitaciones a las que se enfrenta el equipo. En el Capítulo 2, el **segundo paso** involucra utilizar la información identificada en el primer paso para evaluar qué se puede hacer de manera realista cuando se desarrollan escenarios climáticos como parte de las LECRDs y otras evaluaciones. En el Capítulo 3, el **tercer paso** ofrece orientación acerca de cómo comprender y gestionar la incertidumbre asociada con el desarrollo de escenarios climáticos a fin de construir un rango prospectivo de escenarios climáticos. En el Capítulo 4, el **cuarto paso** ofrece un resumen del procedimiento general para el desarrollo de escenarios climáticos y los métodos disponibles para los esfuerzos a nivel regional y local. Enfatiza además la necesidad de documentar el proceso de desarrollo de escenarios climáticos a fin de informar a los miembros del equipo y derivar y compartir las lecciones aprendidas.

El Capítulo 5 resume el informe, y el Anexo introduce los estudios de caso regionales para ilustrar el proceso de desarrollo de escenarios climáticos y la interrelación entre las limitaciones y la selección del método, o métodos, de escenarios climáticos.

Existe un listado de referencias al final de este informe para informar a los lectores acerca de la literatura que fue consultada durante la redacción de esta publicación y acerca de información importante que los lectores deberían considerar revisar cuando preparen y lleven a cabo la tarea de desarrollo de escenarios climáticos.

Capítulo 1 Pasos Preliminares en el Desarrollo de Escenarios Climáticos

Evalúe y Determine las Necesidades de Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 1)

- Construya un Equipo Interdisciplinario para Desarrollar Escenarios Climáticos (Paso 1.1)
- Determine las Necesidades de Escenarios Climáticos (Paso 1.2)
- Evalúe Conexiones y Necesidades de Escenarios Climáticos (Paso 1.3)
- Formule un Plan e Identifique Recursos Existentes (Paso 1.4)

1 Evalúe y Determine las Necesidades de Desarrollo de Escenarios Climáticos

Introducción

"Se sugiere tener reuniones regulares a fin de mantener abiertas las líneas de comunicación, compartir información y alentar un proceso transparente y bien documentado."

La evaluación y la determinación de las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos ofrecen un fuerte fundamento desde el cual los administradores de proyectos y sus equipos de expertos pueden trabajar para producir escenarios climáticos que tengan buena relación de costo-efectividad y así satisfacer las necesidades de los usuarios finales identificados. Existen cuatro principales tareas involucradas en este paso. La primera tarea (Paso 1.1) es para construir un equipo interdisciplinario de expertos a fin de combinar sus habilidades y orientar al administrador de proyectos de desarrollo de escenarios climáticos a través de una serie de preguntas y cuestiones formuladas durante las etapas preliminares y a lo largo de todo el proceso. La segunda tarea (Paso 1.2) es para determinar las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos a través de un ejercicio de alcance. Durante este ejercicio, los expertos formulan preguntas clave a fin de determinar el propósito y las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos. La tercera tarea (Paso 1.3) es para evaluar las distintas necesidades, y la última tarea (Paso 1.4) es para formular un plan de desarrollo de escenarios climáticos.

1.1 Construya un Equipo Interdisciplinario para Desarrollar Escenarios Climáticos

El primer paso para construir un rango prospectivo de escenarios es la creación de un equipo interdisciplinario sólido para planificar y ejecutar la tarea. En muchos casos, esta responsabilidad recae en el/la administrador(a) del proyecto. Requiere de una evaluación prolija de qué tipos de destrezas o habilidades son requeridas a fin de llevar a cabo el desarrollo de escenarios, el nivel de recursos (esto es, el presupuesto y otros) requeridos y disponibles, y quién está accesible y es capaz de contribuir al proceso. Frecuentemente, este ejercicio de reflexión identifica las limitaciones (por ejemplo, financieras, informáticas, de personal, científicas, etc.) que el administrador de proyectos deberá gestionar a lo largo de las etapas de planificación y de implementación a fin de atenerse a los objetivos y satisfacer aquellos objetivos del proyecto.

Tabla 2: Resumen de los miembros clave para el equipo de desarrollo de escenarios climáticos

Quién	Qué	Cuándo	Notas
Administrador del proyecto	Líder del equipo	Ciclo entero del proyecto (Pasos 1-4)	Conceptualiza el desarrollo de escenarios climáticos; administra el presupuesto; Interactúa con los miembros del equipo
Científico	Experto	Ciclo entero del proyecto (Pasos 1-4)	Experto en ciencias relacionadas con el clima
Modelador del clima	Experto	Ciclo entero del proyecto con un énfasis en consultas durante los Pasos 1 y 4	Experto en modelos climáticos; asesora durante los Pasos 1-4; realiza análisis para producir la climatología actual y los escenarios climáticos futuros
Usuario final (planificador, formulador de políticas, etc.)	Usuario	**Etapas preliminares:** Consulta para determinar cuál es, y cómo será utilizada, la información de escenarios (Paso 1) **Desarrollo posterior:** Ofrece resultados del ejercicio al usuario final conjuntamente con toda la documentación	Incorpora la información de escenarios climáticos dentro de las evaluaciones de vulnerabilidad, adaptación y mitigación

1.2 Determine las Necesidades de Escenarios Climáticos

Toda vez que los miembros del equipo estén identificados, podrán empezar a determinar sus necesidades y a organizar su trabajo (esto es, quién, cuándo) dentro del contexto de las LECRDs o de otras evaluaciones. Un ejercicio inicial de alcance es esencial para este proceso. Los administradores de proyectos pueden utilizar las preguntas de la Figura 2 para iniciar debates con los miembros del equipo en torno a las necesidades eventuales de escenarios climáticos. Estos debates deberán involucrar a los usuarios finales a fin de asegurar que sus necesidades sean satisfechas. Durante este ejercicio, el equipo deberá considerar asignar papeles para destinar tareas y recursos. Es probable que el administrador del proyecto conozca el presupuesto de antemano y que desempeñe un papel importante en la distribución de los fondos disponibles. Se sugiere mantener reuniones regulares a fin de dejar abiertas las líneas de comunicación, compartir información y alentar un proceso transparente y bien documentado.

DEFINICIÓN

Resoluciones Espaciales y Temporales

Las resoluciones espaciales y temporales se refieren al tamaño del área (por ejemplo, 25 kilómetros cuadrados [km^2], ó 2.500 km^2) y al período de tiempo (por ejemplo, por hora, por día, por mes, por temporada) para los cuales son representados los procesos del sistema físico terrestre, respectivamente.

"La comprensión de las necesidades del usuario final puede racionalizar el desarrollo de escenarios climáticos y hacerlo más eficiente y que tenga una buena relación costo-efectividad."

Figura 2: Preguntas clave para determinar el propósito y las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos

Nota: Adaptado de la Figura 5 (Lu, 2006).

Un debate acerca de las preguntas clave tratadas en la Figura 2 y las Tablas 3 y 4, mostradas a continuación, puede ser utilizado como guía al momento de determinar las necesidades de escenarios climáticos. No existe un orden especial en el cual contestar estas preguntas.

Debate acerca de las Preguntas Clave para Determinar el Propósito y las Necesidades de Desarrollo de Escenarios Climáticos

Propósito: La determinación del propósito de desarrollo de escenarios climáticos representa un punto crítico de inicio. Una vez que el propósito esté identificado (esto es, la razón para el desarrollo del escenario climático), el administrador del proyecto y su equipo de expertos cuentan con un fundamento sobre el cual construir. Por ejemplo, si se requiere de escenarios climáticos para una evaluación de recursos hídricos futuros en una región, entonces el equipo deberá enfocar sus esfuerzos a fin de asegurar que los pronósticos de precipitación sean realistas.

Usuarios finales: La identificación de los usuarios finales (por ejemplo, los administradores agrícolas y del agua) y de sus necesidades, ayuda a que el equipo desarrolle un rango de escenarios que encaje de mejor manera con sus necesidades. Idealmente, el propósito de la reducción a escala y las necesidades del usuario final, estarían alineados. Como ejemplo de las necesidades del usuario final, los granjeros generalmente requieren de información climática que incluya las estadísticas de precipitaciones y las temperaturas diarias durante la temporada de cultivo (por ejemplo, frecuencia, intensidad y duración de las sequías). La comprensión de las necesidades del usuario final puede racionalizar el desarrollo de escenarios climáticos y hacerlo más eficiente y con una buena relación costo-efectividad.

Horizonte temporal: La selección del período futuro (por ejemplo, años 2030, 2050 y 2100) para los escenarios climáticos, está vinculada con el propósito y las necesidades del usuario.

Variables: La identificación de las variables para el desarrollo de escenarios climáticos ayuda a determinar el tipo de datos que el equipo necesitará recabar.

Resolución Espacial y Temporal: La determinación de la resolución de escenarios climáticos (esto es, resolución alta o baja), representa un factor importante en la construcción de escenarios climáticos y además una cuestión central de este documento. Las necesidades de escenarios a nivel global, regional y local tienden a requerir de un nivel mayor de resolución a fin de informar a los responsables de forma precisa. En el caso de las LECRDs, los escenarios de cambio climático son utilizados para identificar las opciones de vulnerabilidad, mitigación y adaptación, así como para evaluar las necesidades de financiación para la implementación de las LECRDs. La resolución para estos propósitos y de otras evaluaciones, varía dependiendo de una serie de factores: (1) el tamaño de la región; (2) la geografía física, incluyendo la cubierta terrestre de la región, su topografía y los patrones climáticos a gran escala; y (3) la aplicación de los objetivos. Estos factores son tratados en el Paso 1.3.

Eventos Extremos: La determinación de si los escenarios climáticos deberían incluir variables climáticas promedias o valores promedios y extremos de las variables climáticas, representa una decisión clave, la cual influencia la opción de enfoque científico hacia el desarrollo del escenario climático. La principal razón es debido a que la destreza de predicción depende en gran medida de la variable objetiva (por ejemplo, la temperatura diaria o mensual mínima, máxima y promedia).

"... un debate acerca de las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos, en particular dentro del contexto de las LECRDs, no se puede dar sin tomar en cuenta el tamaño y la geografía física de una región y la aplicación objetiva de escenario."

Tabla 3: Hoja de trabajo sugerida para determinar las necesidades y el propósito de los escenarios climáticos

Pregunta	Respuesta	Comentario
¿Qué fuentes de información están disponibles?		
¿Cuáles son las cuestiones claves para acceder a datos existentes?		
¿Cuál es el nivel de destreza de los pronósticos del modelo climático en el área de interés?		
¿Cómo varía el nivel de destreza en torno a distintas variables (por ejemplo, temperatura, precipitación, etc.)?		

Tabla 4: Directrices para determinar las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos

Temas	Persona Responsable	Respuesta
Propósito	Administrador del proyecto (PM-*Project Manager*)	Para evaluar las tendencias futuras en el clima como herramienta para desarrollar una estrategia de desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima, la cual incluye aproximaciones de adaptación y de mitigación
Usuarios finales	PM	PM, Asesores de Política, Planificadores
Horizonte temporal	PM/experto	2050, 2100, etc.
Variables	Experto /PM	Temperatura, precipitación
Resolución	Experto /PM	Temporal: por hora, por día, por mes, por temporada; Espacial: 5 kilómetros (km), 50 km, 200 km
Eventos extremos	Experto	Temperatura y precipitación diaria máxima y mínima

1.3 Evalúe las Conexiones y Necesidades de Escenarios Climáticos

Luego de identificar las necesidades específicas del desarrollo de escenarios climáticos, es importante evaluar cómo están relacionadas para entender qué se requiere para el desarrollo de escenarios climáticos. A fin de realizar esto, es crítico reconocer y comprender que las necesidades de escenarios climáticos, en particular dentro del contexto de las LECRDs, no se pueden dar sin consideración del tamaño y geografía física de la región y la aplicación del objetivo del escenario.

Características Físicas y Aplicación del Objetivo

Tamaño de la región y geografía física: Las características físicas (esto es, el tamaño y la geografía) desempeñan un papel en la determinación de las necesidades de desarrollo del escenario climático. Además, están vinculadas a la cuestión de la resolución del escenario climático. La resolución para un escenario climático dado varía por región dependiendo de su tamaño y geografía física: (1) cubierta terrestre (bosques, cultivos, urbana, etc.) y cuencas; (2) topografía y proximidad al océano y montañas circundantes; y (3) patrones climáticos a gran escala (por ejemplo, El Niño-Oscilación Sur).

Aplicación objetiva (recursos hídricos, agricultura, etc.): Las necesidades de escenarios climáticos dependen fuertemente de la aplicación objetiva (por ejemplo, agricultura, agua, energía, gestión de desastres y biodiversidad). La opción de variables climáticas (por ejemplo, temperatura, precipitación, etc.) y su resolución (por ejemplo, diario, mensual, de temporada) para un escenario dado se encuentra vinculada a la aplicación de interés, así como la naturaleza de las características físicas de una región depende de su aplicación objetiva. Por tanto, una vez que la aplicación objetiva haya sido identificada, el administrador del proyecto podrá de mejor manera recomendar el conjunto óptimo de variables relacionadas con el clima para su inclusión en el desarrollo de escenarios climáticos (ver la Figura 3).

El vínculo entre la aplicación objetiva y la resolución del escenario también es importante. Podría existir una inconexión entre lo que los usuarios finales desean en términos del nivel de resolución y lo que el administrador de proyectos es capaz de proveerles con una aplicación objetiva dada. En general, los usuarios finales desearían contar con información climática al nivel más alto de resolución espacial y temporal posible. Los administradores de proyectos deben esforzarse por proveerles a los usuarios finales de escenarios climáticos que satisfagan sus necesidades de resolución. Sin embargo, no siempre es posible debido a las limitaciones científicas y no científicas.

Figura 3: Ejemplos de aplicaciones objetivas para escenarios climáticos

Agricultura, silvicultura y ecosistemas

- **Datos mínimos:** Temperatura (T), precipitación (P)
- **Otros datos:** Radiación solar, humedad, viento, extremos
- **Uso de datos:** Cálculo de la evapotranspiración y crecimiento de cultivos
- **Focos de la evaluación:** Cambios en la productividad de la vegetación, frecuencia de sequías/inundaciones/incendios, salud del ganado, brotes de insectos

Recursos hídricos

- **Datos mínimos:** P
- **Otros datos:** T, extremos
- **Uso de datos:** Cálculo de corrientes de ríos, evapotranspiración, recarga de aguas subterráneas, etc.
- **Focos de la evaluación:** Cantidad y calidad del agua

Gestión de desastres

- **Datos mínimos:** Extremos of T, P, y viento; nivel del mar
- **Otros datos:** Presión, radiación
- **Uso de datos:** Cálculo de efectos de eventos extremos
- **Enfoques de evaluación:** Susceptibilidad de la infraestructura por eventos climáticos extremos, vulnerabilidad de la población referente a inundaciones

Nota: Esta figura ilustra las necesidades de escenarios climáticos de varias aplicaciones relacionadas con el desarrollo. Estas aplicaciones fueron seleccionadas solamente para propósitos ilustrativos.

DEFINICIÓN

Resolución espacial

La resolución espacial se refiere al tamaño de la cuadrícula al cual los modelos de clima global (GCM) representan procesos físicos. Por ejemplo, un modelo climático podría tener una resolución de 2°× 2°, lo cual significa que las dimensiones de una celda en una cuadrícula serán de unos cuantos cientos de kilómetros (dependiendo de la latitud). Por tanto, los pronósticos de temperatura de los GCM representarían la *temperatura promedio a lo largo de esta área de 2°× 2°.*

1.4 Formule un Plan e Identifique los Recursos Existentes

Una vez que estén identificadas y evaluadas las necesidades de escenarios climáticos, el administrador del proyecto y su equipo de expertos pueden empezar a formular un plan de desarrollo que incluirá la identificación de información existente y las herramientas para el clima a fin de asistir con su implementación; esto debería racionalizar el proceso de desarrollo de escenarios y optimizar la utilidad de la recolección de datos y de los esfuerzos de modelaje. A fin de satisfacer las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos, muchos equipos echarán un vistazo a los modelos de clima global (GCM) como una fuente de datos acerca de cambios en el clima.

Ya existen datos de simulación provenientes de los GCM (ver Recuadro 1) y éstos ofrecen información acerca de cambios en el clima a un nivel relativamente burdo o bajo de resolución. Son utilizados principalmente a fin de comprender el clima de todo el sistema de la Tierra (a nivel macro) en lugar de en regiones individuales (a nivel micro). La resolución espacial de unos GCM está en el orden de unos cientos de kilómetros, con predicción más fácilmente accesible dentro de una escala de tiempo mensual. Los usuarios de escenarios climáticos regionales o locales, sin embargo, a menudo necesitan de información climática a resoluciones espaciales de decenas de kilómetros o menos, y a resoluciones temporales menores a un mes (por ejemplo, a diario o en cada hora) dependiendo de la aplicación y de las propiedades climáticas y físicas de su región. Esta diferencia en la resolución espacial es de un orden de magnitud. Para la resolución temporal, es importante notar que aun si están disponibles los pronósticos GCM a resoluciones mayores (tal como de cada día), estos datos deberán ser interpretados con cautela dada la incertidumbre que circunda a la capacidad de los GCM en la predicción de las variables diarias.

Recuadro 1: Fundamentos del modelo de clima global

Los administradores de proyectos y los formuladores de decisiones, se pueden beneficiar de una comprensión general de los modelos del clima global (GCM) porque representan los principales instrumentos con los cuales comprendemos y predecimos el clima futuro. Los GCM representan una herramienta utilizada para simular los numerosos procesos del sistema terrícola que producen el clima (McGuffie y Henderson-Sellers, 2005). Estos procesos, incluyendo los flujos de humedad, calor e ímpetu, están descritos utilizando representaciones matemáticas que son típicamente derivadas de leyes físicas. A continuación se preparan programas detallados de informática para resolver numerosas ecuaciones que describen al sistema de la Tierra y que se encuentran basados en los principios fundamentales de la conservación de masa, energía, e impulso.

Un GCM, como cualquier modelo de un sistema físico, es una representación simplificada en donde se representan solamente aquellos procesos que se estiman como los más importantes. La superficie, la atmósfera y los océanos de la Tierra son representados en los GCM al dividir estos componentes en celdas de una cuadrícula. En cada celda relevante, las interacciones de la tierra, la atmósfera y los océanos son simuladas a través de cálculos de los movimientos de aire, de radiación, de la transferencia térmica y de otras variables. Los resultados de simulación luego permiten que los científicos investiguen, por ejemplo, las dinámicas hidrológicas mundiales, los ciclos del carbono terrestre y oceánico, los procesos de la criosfera y la química atmosférica de climas pasados, presentes y futuros.

La generación actual de los GCM puede ahora captar muchos aspectos del clima presente de la Tierra y su variabilidad. Al mismo tiempo, estos modelos cuentan con limitaciones y por tanto requieren de mayor desarrollo y refinamiento. Por ejemplo, es difícil para los GCM representar a las tormentas eléctricas de forma realista debido a que estas tormentas a menudo son muy pequeñas en relación con el tamaño de la cuadrícula de los GCM. Adicionalmente, los científicos recién están empezando a explorar el papel que desempeñan otros forzamientos climáticos locales relevantes, incluyendo aquellos debidos al carbono negro, la variabilidad solar, los cambios de cubierta terrestre y las zonas térmicas urbanas.

A la luz de las incertidumbres significativas dentro del sistema climático, nosotros típicamente hacemos uso de muchos GCM disponibles — cada uno con representaciones diferentes del sistema de la Tierra — a fin de producir evaluaciones probabilísticas basadas en el modelo del clima futuro a lo largo de escenarios climáticos.

Por favor refiérase a McGuffie y Henderson-Sellers (2005) para una introducción más detallada a los GCM y sus pronósticos.

Recuadro 2: Distinción entre los GCM y los escenarios climáticos de alta resolución: un caso para la reducción a escala

La distinción entre los GCM y los escenarios climáticos de alta resolución se encuentra ilustrada a través de la predicción del GCM de la temperatura y precipitación por un período de 20 años desde el presente. Los pronósticos climáticos del GCM a lo largo de este marco temporal son valores promedio a lo largo de áreas relativamente grandes, lo cual significa que los escenarios climáticos tendrán una resolución de bajo nivel. Sin embargo, la temperatura y la precipitación podrían variar significativamente dentro de estas áreas dependiendo de características tales como la topografía, la cubierta terrestre y la proximidad a la costa. Si la distribución espacial de las variables climáticas dentro de estas áreas es importante para contribuir hacia las estrategias de desarrollo de una región, entonces se podría requerir del uso de una técnica robusta y creíble de resolución a escala para calcular la temperatura y la precipitación a una resolución más fina.

El desfase de resolución entre los pronósticos de alto y bajo niveles de los GCM requeridos para la evaluación local y regional ha sido el centro de investigaciones extensas dentro de la literatura científica. Esta investigación ha resultado en el desarrollo de numerosas técnicas de reducción a escala a fin de producir pronósticos de mayor resolución cuando se comparan con los datos típicos de los GCM. Estas técnicas (por ejemplo, espacial y analógicas, dinámicas, y estadísticas de resolución a escala, etc.) están disponibles para tratar el desfase de escala (ver el Capítulo 4). Varían en términos de su complejidad, demanda de informática y capacidad, y la mayoría utilizan los resultados de los GCM en sus cálculos. El desfase de resolución entre los pronósticos GCM y lo que realmente se requiere para algunos estudios de impacto climático se demuestra en el Recuadro 2.

Resumen

"A fin de satisfacer las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos, muchos equipos mirarán los modelos de clima global (GCM) como fuente de datos acerca de cambios en el clima."

Los administradores de proyectos, conjuntamente con sus equipos, se enfrentan a la tarea de determinar si los análisis de reducción a escala se encuentran basados en el alcance de su evaluación, aplicación objetiva, incertidumbre y limitaciones científicas y no científicas. Si el equipo determina que se requieren análisis de reducción a escala, entonces él deberá decidir cómo realizar estos análisis. Este capítulo ofreció orientación acerca de cómo crear un equipo sólido de desarrollo de escenarios climáticos, ofreció ideas acerca de cómo evaluar las necesidades de escenarios climáticos e identificó limitaciones al desarrollo de escenarios. El siguiente capítulo ofrece orientación acerca de cómo determinar y evaluar las limitaciones regionales.

Capítulo 2

El Papel de las Limitaciones Regionales en el Desarrollo de Escenarios Climáticos

Identifique Limitaciones Regionales y Desarrolle un Plan Realista para el Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 2)

- Evalúe las limitaciones regionales (Paso 2.1)
- Identifique las limitaciones Científicas (Paso 2.2)
- Identifique las limitaciones No Científicas (Paso 2.3)
- Evalúe la Combinación de limitaciones Científicas y No Científicas (Paso 2.4)

2 Identifique las Limitaciones Regionales y Desarrolle un Plan Realista para el Desarrollo de Escenarios Climáticos

Introducción

En el capítulo anterior (Paso 1), la orientación para el administrador de proyectos y para los responsables se enfocó en la realización de un ejercicio de alcance para la evaluación de las necesidades de escenarios climáticos. El Paso 1 resaltó la necesidad de evaluar las conexiones entre las necesidades del escenario climático (incluyendo a la resolución) y las características físicas de una región, conjuntamente con la aplicación objetiva para escenarios climáticos. Este capítulo (Paso 2) enfatiza la necesidad de contar con un debate abierto entre el administrador de proyectos y los expertos científicos sobre las limitaciones identificadas en el Paso 1, así como mayor investigación a fin de clarificar el enfoque y el contexto regional para los escenarios climáticos. El trabajo cercano con los expertos aumentará la capacidad del administrador del proyecto para supervisar los esfuerzos de desarrollo y alentar la consideración holística de los aspectos científicos y no científicos del desarrollo de escenarios climáticos. Ambos pondrán su propio conjunto de habilidades al diálogo, complementándose entre sí y volviéndolos esenciales para el desarrollo de escenarios climáticos.

"El trabajo cercano con los expertos aumentará la capacidad del administrador del proyecto para supervisar los esfuerzos de desarrollo y alentar la consideración holística de los aspectos científicos y no científicos del desarrollo de escenarios climáticos."

El administrador de proyectos aporta una comprensión de las limitaciones no científicas y financieras a los debates de escenarios climáticos, así como su familiaridad con las características de una región y con los escenarios climáticos de los usuarios finales.

Los expertos científicos proveen orientación con base científica acerca de cómo es influenciado el desarrollo de escenarios climáticos por las características de una región (tamaño, topografía e influencias climáticas), conocimiento de un clima de línea base y los modelos y técnicas disponibles para la generación de escenarios climáticos.

La Figura 4 contiene preguntas clave acerca de qué se puede hacer de manera realista en términos de desarrollo de escenarios climáticos. Esta figura complementa las preguntas provistas en la Figura 2 sobre la necesidad de escenarios climáticos. Estas cuestiones fundamentales resaltan los temas básicos de la disponibilidad de datos, la capacidad del modelo y las limitaciones en el desarrollo de escenarios climáticos. El administrador de proyectos puede referirse al Recuadro 3 para más información acerca de las necesidades de datos necesarios para el desarrollo de escenarios climáticos.

Recuadro 3: Datos clave para el desarrollo de escenarios climáticos

El acceso a y la comprensión de datos clave para el desarrollo de escenarios climáticos es crítico para el éxito de cualquier proyecto de desarrollo de escenarios. Un primer paso para que el administrador de proyectos obtenga esta información importante es evaluar la disponibilidad de datos climáticos históricos para el clima de línea base de su región. Ellos deben consultar con los científicos locales y con otros expertos (si están disponibles) a fin de analizar los datos meteorológicos existentes (temperatura, precipitación, viento, etc.) y otras mediciones relacionadas con el clima. Es importante reconocer que la calidad de los datos a menudo es un problema, en especial para aquellas regiones sin una capacidad científica significativa. Adicionalmente, se deben considerar los siguientes aspectos de los datos climáticos históricos de una región:

- Número de estaciones
- Cobertura de área de los datos
- Cantidad de tiempo de los registros
- Calidad de los registros

El control de calidad de los datos de observación es típicamente un proceso que consume mucho tiempo; el administrador de proyectos debe estar consciente de esto y estar preparado. La disponibilidad de datos históricos es clave en la comprensión de los cambios futuros en el clima. Si acaso, como en muchos países en desarrollo, las regiones no cuentan con datos, entonces el administrador de proyectos podría considerar recabar conjuntos de datos de otras fuentes, incluyendo a los siguientes ejemplos:

- WorldClim, superficies climáticas interpoladas para áreas terrestres mundiales a una resolución espacial de 30 segundos de arco (conocido a menudo como una resolución espacial de 1- km). Las variables climáticas disponibles son precipitación y promedio mensual, temperatura mínima y máxima: http://www.worldclim.org/.
- Conjunto de datos mundiales de 50 años (1948-2000) de los forzamientos meteorológicos derivados al combinar iteraciones de análisis con observaciones. Disponible a una resolución espacial de 2,0-grados y 1,0-grado y una resolución temporal de 3 horas: http://hydrology.princeton.edu/data.php.
- APHRODITE: precipitación diaria (0,5 y 0,25 grados) para partes de Asia: http://www.chikyu.ac.jp/precip/cgi-bin/aphrodite/script/aphrodite_cgi.cgi/register.
- Varios productos provenientes del Tyndall Centre for Climate Change Research (http://www.tyndall.ac.uk), los cuales incluyen una climatología mensual mundial de 10 minutos para el período de años 1961 hasta 1990 y observaciones climáticas mundiales de series de tiempo de 0,5° desde el año 1901 hasta el año 2002. Estos productos y otros se encuentran disponibles para ser descargados en: http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/.

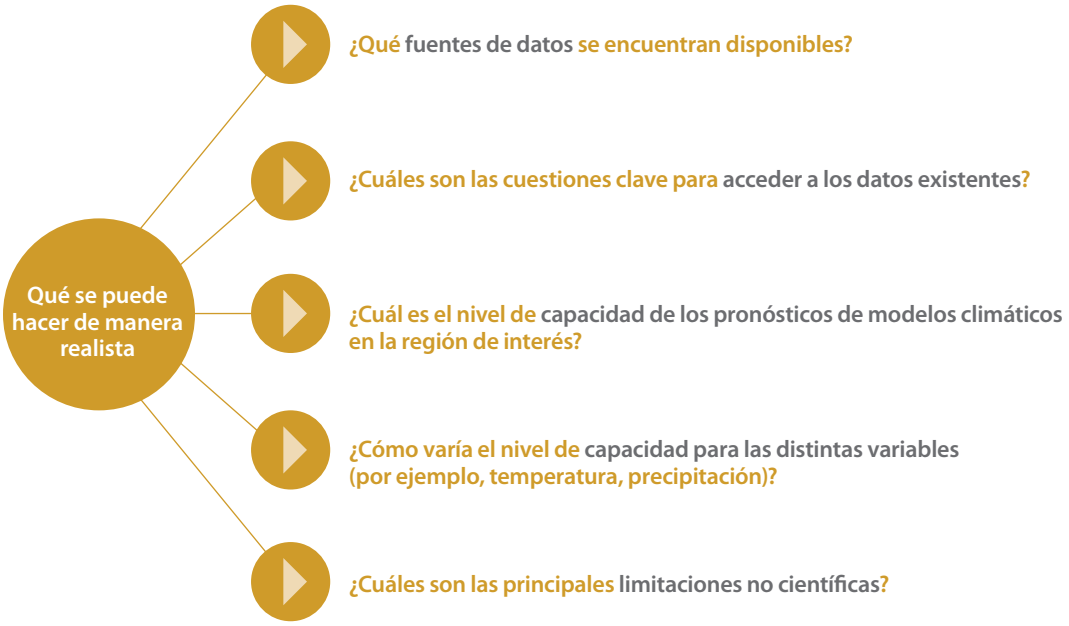
Adicionalmente a datos meteorológicos históricos, otros tipos de datos también son importantes para el desarrollo de escenarios climáticos. Las propiedades de la superficie terrestre — incluyendo aquellas de tipo de suelo, tipo de cubierta terrestre (por ejemplo, bosque, pastizal, urbano) y redes de ríos — representan información clave requerida para modelos con base física. Otros datos dependerán de la naturaleza de la evaluación de vulnerabilidad, de la adaptación y de la mitigación que se darán como parte del desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima (LECRDs) y podrían incluir datos sobre población, energía y emisiones.

Los lectores podrían también consultar la publicación reciente del PNUD, *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners* (PNUD, 2010) para mayor orientación.

2.1 Evalúe las Limitaciones Regionales

Similar al ejercicio de alcance del Paso 1, este paso ofrece al administrador de proyectos y a su equipo de expertos una oportunidad de evaluar qué nivel de esfuerzo y de resultado es realista sobre la base de un análisis integral de las cuestiones básicas de la disponibilidad de datos, destreza de modelo y limitaciones para el desarrollo de escenarios climáticos. El conjunto de preguntas provistas en la Figura 4 ofrece un formato para este proceso.

Figura 4: Preguntas clave para determinar un plan realista de acciones para el desarrollo de escenarios climáticos en LECRDs



Nota: Esta figura sugiere una lista de preguntas fundamentales para evaluar *qué se puede hacer de manera realista* cuando se desarrollen escenarios climáticos como parte de las LECRDs y otras evaluaciones. Adaptado de la Figura 5 (Lu, 2006).

"Las propiedades de la superficie terrestre — incluyendo tipo de suelo, tipo de cubierta terrestre (por ejemplo, bosque, pastizal, urbano) y redes de ríos — representa información clave que se requiere para modelos con base física."

Tabla 5: Hoja de trabajo sugerida para determinar el mejor enfoque para el desarrollo de escenarios climáticos

Pregunta	Respuesta	Comentario
¿Qué fuentes de datos se encuentran disponibles?		
¿Cuáles son las cuestiones clave para acceder a los datos existentes?		
¿Cuál es el nivel de capacidad de los pronósticos del modelo climático en el área de interés?		
¿Cómo varía el nivel de capacidad para las distintas variables (por ejemplo, temperatura, precipitación, etc.)?		
¿Cuáles son las principales limitaciones no científicas?		

2.2 Identifique las Limitaciones Científicas

Como se señaló previamente, algunas de las cuestiones principales relacionadas con la ciencia, que deben considerar el administrador de proyectos y los expertos científicos al momento de determinar qué se puede hacer, se encuentran enumeradas a continuación.

- Disponibilidad y resolución de los datos de observación
- Tamaño de la región
- Horizonte temporal (períodos futuros de interés)
- Aplicación objetiva

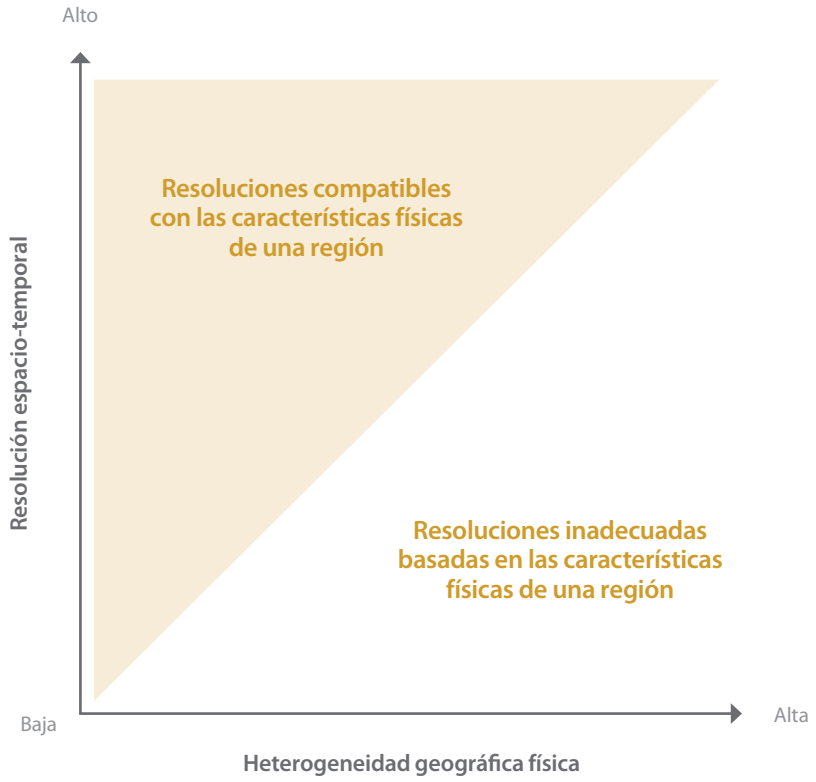
La geografía física de una región, que incluye la geomorfología, la hidrología, la ecología y la climatología, también representa un factor clave a ser considerado. Contará con una fuerte influencia en el desarrollo de escenarios climáticos, especialmente en relación con la resolución de escenarios climáticos.

La relación entre la geografía física y la resolución de escenarios climáticos se presenta cualitativamente en la Figura 5. Esta figura ofrece una ayuda visual para que el administrador de proyectos y sus equipos puedan comprender de mejor manera el vínculo existente entre la geografía física y el nivel óptimo (esto es, bajo o alto) de resolución de desarrollo de escenarios climáticos. En otras palabras, ofrece orientación acerca de cómo equiparar la resolución de escenarios climáticos con las características físicas de un área.

"Los debates acerca de las limitaciones científicas y no científicas al desarrollo de escenarios climáticos pueden ser delimitados utilizando la Figura 6."

En la Figura 5, las resoluciones espacio-temporales compatibles con las características físicas de un área están identificadas en relación con la heterogeneidad en su geografía física. Para mayor simplicidad, la geografía física de un área está caracterizada en términos de heterogeneidad espacial, reconociendo que los escenarios de mayor resolución son típicamente requeridos conforme se incrementa la heterogeneidad. Esta figura identifica a dos dominios, uno donde las resoluciones de escenarios climáticos son compatibles con las características físicas de una región (área sombreada) y otra en donde las resoluciones son inadecuadas (área blanca). A pesar de que esta figura ofrece solamente una comprensión cualitativa básica de la relación, es útil para enmarcar los debates acerca de los aspectos científicos del desarrollo de escenarios climáticos entre el administrador de proyectos y los expertos científicos.

Figura 5: Influencia de la geografía física (por ejemplo, geomorfología, hidrología, ecología y climatología) en la resolución espacio-temporal de los escenarios climáticos



Nota: La geografía física de una región está caracterizada en términos de heterogeneidad espacial, en donde se requiere de escenarios de más alta resolución conforme se incrementa la heterogeneidad.

2.3 Identifique las Limitaciones no Científicas

Adicionalmente a la influencia de las limitaciones científicas (por ejemplo, la resolución espacio-temporal) referente al desarrollo de escenarios climáticos, existen múltiples cuestiones no científicas que son tratadas en el Paso 1 (limitaciones de datos, financieras, de personal, etc.) que también tendrán una influencia. El administrador de proyectos deberá orientar los debates con su equipo de expertos de modo que una variedad de enfoques — consistente con los recursos disponibles de un proyecto — sea evaluada.

2.4 Evalúe la Combinación de Limitaciones Científicas y No Científicas

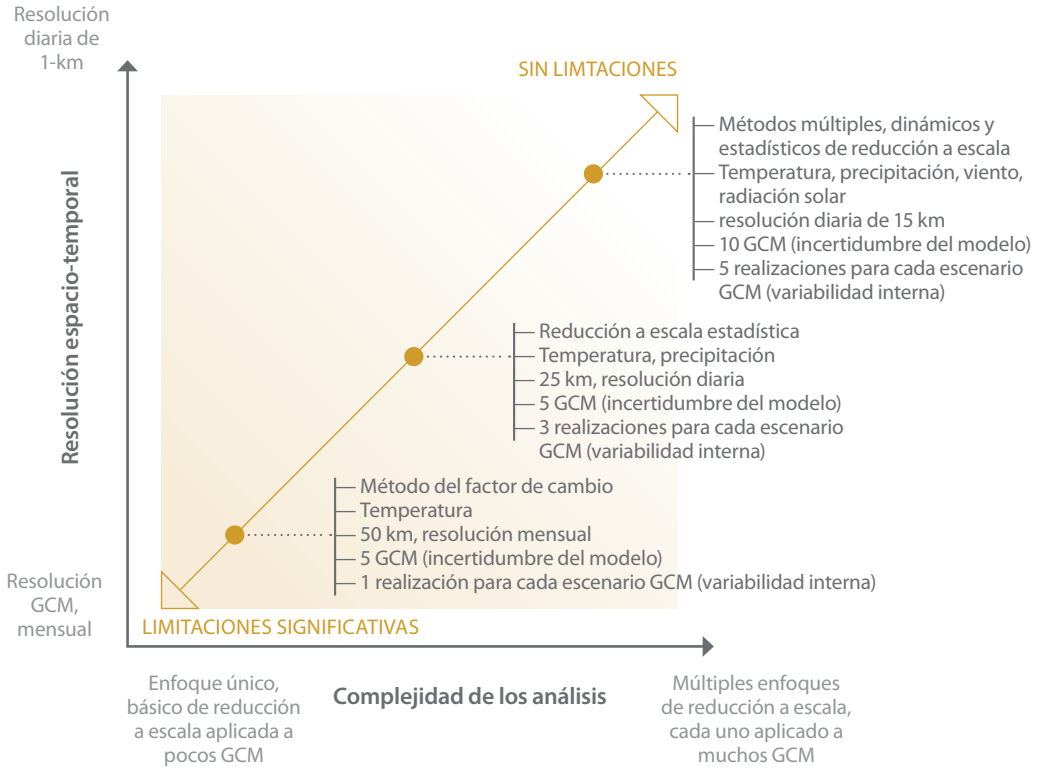
La Figura 6 presenta de forma esquemática la relación entre la complejidad de los análisis, la resolución espacio-temporal y las limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos. En ella, la "complejidad de los análisis" se refiere a las características del enfoque para el desarrollo de escenarios climáticos. Por ejemplo, un enfoque con una complejidad relativamente baja representaría un análisis en donde los escenarios climáticos son obtenidos con un único GCM para solamente una realización (por ejemplo, sin contar la incertidumbre debida a la variabilidad climática interna — ver el Capítulo 3). Contrariamente, un análisis con alta complejidad involucraría resultados provenientes de varios GCM con múltiples realizaciones para cada GCM, en donde se emplean varias técnicas de reducción a escala. En cuanto a la resolución espacio-temporal, un caso de baja resolución contaría con escenarios de una resolución similar al resultado del GCM (esto es, resultados mensuales de cuadrículas de 2°× 2°) y un caso de muy alta resolución podría tener escenarios climáticos de una resolución diaria de 1-km.

Las discusiones sobre las limitaciones científicas y no científicas al desarrollo de escenarios climáticos pueden ser enmarcados utilizando la Figura 6. La figura ilustra cualitativamente que la complejidad potencial de análisis y de resolución espacio-temporal dependerá de las limitaciones no científicas de un proyecto (de datos, financieras, de informática o de personal). Conforme se incrementan estas limitaciones, la complejidad potencial y la resolución de los análisis climáticos generalmente disminuirán.

Tres ejemplos hipotéticos se encuentran resaltados en la Figura 6: (1) sin limitaciones; (2) limitaciones medianas; y (3) limitaciones significativas. Ubicadas dentro del espacio de resolución-complejidad de la figura, las tres limitaciones están emparejadas con el método apropiado de desarrollo de escenarios climáticos que iguala el nivel de limitación presentado en cada caso. Esto demuestra la interacción entre las limitaciones no científicas y la opción de la resolución espacio-temporal, así como la complejidad de los procesos de toma de decisión y de análisis. En el anexo a este informe, se presentan tres estudios de caso para el desarrollo de escenarios climáticos a fin de ilustrar la relevancia de la Figura 6 en referencia a los problemas de la vida real.

"Se puede conseguir un enfoque óptimo para el desarrollo de escenarios climáticos solamente a través de debates reiterados acerca de las limitaciones científicas y no científicas, como se ilustra en las Figuras 5 y 6, lo que nace del diálogo continuo entre el administrador de proyectos y los expertos."

Figura 6: Interacción entre limitaciones no científicas (de datos, financieras, de informática o de personal), complejidad de análisis y resolución espacio-temporal para el desarrollo de escenarios climáticos



Resumen

Se puede alcanzar un enfoque óptimo para el desarrollo de escenarios climáticos solamente a través de debates reiterativos acerca de las limitaciones científicas y no científicas, como se ilustra en las Figuras 5 y 6, la cual nace del diálogo continuo entre el administrador de proyectos y los expertos. Los diálogos deben resultar en la creación de un conjunto de escenarios climáticos plausibles a resoluciones espaciales y temporales específicas que satisfagan de la mejor manera las necesidades de los usuarios finales mientras tratan las limitaciones reales enfrentadas en torno al desarrollo de escenarios. Una descripción clara de las suposiciones e incertidumbre asociadas con el rango de pronósticos debe acompañar a cualquier escenario climático.

La información presentada en los Capítulos 1 y 2 empodera a los equipos de desarrollo de escenarios climáticos para que hagan uso exhaustivo del contenido ofrecido en las partes posteriores del informe. Antes de escoger una técnica de reducción a escala, es importante que los equipos de desarrollo de escenarios climáticos comprendan las incertidumbres inherentes al desarrollo de escenarios climáticos y cómo se relacionan con los distintos enfoques de reducción a escala. Esta cuestión es el centro del siguiente capítulo.

Capítulo 3

Incertidumbre y desarrollo de escenarios climáticos

Comprenda la Incertidumbre y construya un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3)

- Repase las Principales Fuentes de Incertidumbre en las predicciones de Modelo (Paso 3.1)
- Seleccione Escenarios de Emisiones para Crear un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3.2)
- Considere Otras incertidumbres al Construir un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos (Paso 3.3)
- Tome Decisiones Informadas a Pesar de las Incertidumbres en los Escenarios Climáticos (Paso 3.4)

3 Comprenda la Incertidumbre y Construya un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos

Introducción

La comprensión de las incertidumbres asociadas con el desarrollo de escenarios climáticos representa una parte importante del proceso de desarrollo. Es valiosa para el administrador de proyectos y para su equipo de expertos así como para los usuarios finales. Los equipos de desarrollo de escenarios climáticos se benefician de este conocimiento ya que permite que tomen decisiones mejor informadas sobre cuál modelo y qué técnica utilizar para construir el rango efectivo más robusto y prospectivo de escenarios climáticos para realizar las LECRDs y otras evaluaciones. Los equipos de desarrollo de escenarios climáticos deben consultar con expertos científicos a fin de buscar un enfoque para cuantificar la incertidumbre en los escenarios climáticos a fin de evaluar la selección del método e informar a los usuarios finales. La confianza o fiabilidad asociada con los escenarios climáticos representa una información clave, en especial para los usuarios finales de los datos. Por tanto, la comunicación de información a los usuarios finales acerca de la incertidumbre, les permitirá desarrollar una información climática más sólida para sus estudios de vulnerabilidad y de impacto.

"Es de ayuda para el administrador de proyectos y para sus equipos que comprendan el rango de incertidumbre asociado con el desarrollo de escenarios climáticos antes de escoger su enfoque (esto es, modelo, técnica de reducción a escala, etc.)."

Este capítulo revisará las principales fuentes de incertidumbre que surgen durante el desarrollo de escenarios climáticos, y luego tratará la interacción entre la complejidad de los análisis de escenarios climáticos (incluyendo a la evaluación de incertidumbres) y la resolución de escenarios climáticos. Tratará además de cómo pueden los responsables utilizar a los escenarios climáticos a fin de tomar decisiones informadas a pesar de la incertidumbre asociada con los modelos climáticos (incertidumbre en las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI], incertidumbre en la respuesta del modelo y la variabilidad interna del sistema climático). Es de ayuda para el administrador de proyectos y para sus equipos, que comprendan el rango de incertidumbre asociado con el desarrollo de escenarios climáticos antes de que escojan su enfoque (esto es, modelo, técnica de reducción a escala, etc.). El contenido y las figuras presentadas en este capítulo buscan ilustrar cómo se relacionan las distintas combinaciones de incertidumbre con la complejidad de los análisis de escenarios y las opciones de modelos y de técnicas para el desarrollo de escenarios.

3.1 Repase las Principales Fuentes de Incertidumbres en las predicciones de modelo

En general, la incertidumbre en las predicciones de modelo climático del clima futuro surgen de tres fuentes particulares: incertidumbre en las emisiones futuras de GEI, incertidumbre en la respuesta del modelo y la variabilidad del sistema climático.

Incertidumbre en futuras emisiones de GEI: Esta fuente de incertidumbre es probablemente más familiar para el administrador de proyectos y para los responsables. La incertidumbre en futuras emisiones GEI se debe a la incertidumbre en las suposiciones clave acerca de las relaciones entre la población futura, el desarrollo socioeconómico y los cambios técnicos conforme afectan a las emisiones de GEI.

Incertidumbre en la respuesta del modelo: Los modelos pueden pronosticar cambios distintos en el clima para los mismos forzamientos; estas diferencias entre modelos se deben a representaciones matemáticas variantes del sistema terrestre.

Variabilidad Interna del sistema climático: Esta incertidumbre se refiere a las fluctuaciones naturales en el clima que ocurren aparte de cualquier intensificación radiactiva del sistema terrestre. Las fluctuaciones son importantes para el administrador de proyectos, como lo indican Hawkins y Sutton (2009), ya que podrían potencialmente revertir las tendencias climáticas a largo plazo — reversiones que pueden durar una década aproximadamente.

A fin de clarificar estas fuentes de incertidumbre para el administrador de proyectos y para los responsables, es útil identificar de dónde surge cada fuente cuando se desarrollan escenarios climáticos. La Figura 7 se ofrece como una ayuda visual a fin de mostrar los principales componentes del desarrollo de escenarios climáticos (GEI, cambio climático mundial, detalles regionales, impactos) conjuntamente con sus fuentes asociadas de incertidumbre (ver por ejemplo, Mearns et al., 2003; Quintana Seguí et al., 2009).

DEFINICIÓN

Intensificación Radiactiva

La intensificación radiactiva se refiere a la influencia que un factor tiene para cambiar el equilibrio de la energía entrante y saliente en el sistema de la Tierra.

DEFINICIÓN

Escenario SRES A2

El argumento A2 describe un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es la autosuficiencia y preservación de identidades locales. Los patrones de fertilidad a lo largo de regiones convergen lentamente, lo cual resulta en una población mundial de continuo crecimiento. El desarrollo económico es primordialmente orientado regionalmente, y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico, son más fragmentados y más lentos que en otros argumentos.

Figura 7: Fuentes principales de incertidumbre relevante cuando se desarrollan escenarios climáticos

Nota: Basado en el concepto de 'cascada de incertidumbre' de Mearns et al. (2003) y la Figura 2 de Lu (2007). Esta figura presenta las principales fuentes de incertidumbre que son relevantes al momento de desarrollar los escenarios climáticos. El Administrador de proyecto debe evaluar cada una de estas fuentes de incertidumbre y gestionarlas a través del desarrollo de un *rango prospectivo de escenarios climáticos.*

"Un primera tarea recomendada en la construcción de un rango prospectivo de escenarios climáticos es la consideración de escenarios de emisiones altas y bajas de GEI."

Principales Fuentes de Incertidumbre Relevante al Momento de Desarrollar Escenarios Climáticos

Gases de efecto invernadero: Una primera fuente de incertidumbre en la Figura 7 involucra la selección de escenarios de emisión de GEI. Dado que la magnitud y la sincronización de las emisiones futuras son desconocidas, el administrador de proyectos debe reconocer que las emisiones de GEI representan una fuente principal de incertidumbre.

Cambio Climático Mundial: La siguiente fuente de incertidumbre surge al momento de pronosticar el cambio climático mundial. Esta fuente ocurre debido a diferencias en la respuesta del modelo así como a la variabilidad interna del sistema climático.

Modelo Regional de Detalle e Impacto: Dos fuentes adicionales de incertidumbre son la reducción a escala y la incertidumbre del modelo de impacto. La incertidumbre de la reducción a escala se manifiesta a sí misma cuando múltiples técnicas de reducción a escala — aplicadas a datos del GCM — producen distintas predicciones climáticas. Esta incertidumbre ha sido demostrada en estudios científicos que comparan múltiples técnicas de reducción a escala (por ejemplo, Wilby y Harris, 2006), a pesar de que no se lo entiende al momento. La incertidumbre del modelo de impacto ocurre como resultado del conocimiento incompleto acerca de cómo podría afectar el cambio climático a varios sectores de la sociedad. De estas dos fuentes, la incertidumbre de reducción a escala es la más relevante para esta guía, a pesar de que el administrador del proyecto debe estar consciente que los usuarios finales de los escenarios climáticos podrían al final tener que lidiar con la incertidumbre del modelo de impacto, en especial para las estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima.

Mientras que estas diversas fuentes de incertidumbre aparentan ser — y de hecho son— abrumadoras, este es el marco propuesto que permitirá al administrador de proyectos y a los expertos científicos, gestionar las incertidumbres que surjan durante el desarrollo de los escenarios climáticos. La meta es producir un rango prospectivo de escenarios climáticos que cubrirá el rango probable de condiciones climáticas futuras de un área. En los pasos siguientes, trataremos acerca de cómo deben el administrador del proyecto y los expertos científicos lidiar con estas fuentes de incertidumbre cuando desarrollen los escenarios climáticos.

3.2 Seleccione Escenarios de Emisiones para Crear un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos

Una primera tarea recomendada en la construcción de un rango prospectivo de escenarios climáticos es la consideración de escenarios altos y bajos de emisiones de GEI. Este enfoque establece un conjunto inicial de límites sobre nuestros escenarios climáticos y debería racionalizar los debates entre el administrador de proyectos y los expertos científicos acerca de la incertidumbre de emisiones. Un enfoque alternativo sería de considerar un escenario "prudente", aunque no está claro si tal escenario podría ser realísticamente identificado. Este enfoque prudente podría además prevenir el establecimiento de un rango de escenarios climáticos para tratar la incertidumbre de emisiones, lo que se pretende en este paso.

Los escenarios más accesibles sobre emisiones GEI provienen del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (SRES) del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (Nakicenovic et al., 2000). Estos escenarios fueron utilizados en los análisis del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del IPCC. Mientras que los escenarios SRES son al momento los escenarios más ampliamente utilizados, existen esfuerzos para reemplazar estos escenarios — un esfuerzo importante dado que los escenarios ya tienen una década de antigüedad.

Si los administradores de proyectos están utilizando datos de modelos climáticos AR4, entonces podrían construir su rango al considerar los escenarios A2 y B1 de los SRES. Estos escenarios corresponden a un rango de aproximadamente 540 a 970 partes por millón de dióxido de carbono en la atmósfera hacia el año 2100 (IPCC, 2001). Otros escenarios SRES podrían ser sustituidos dependiendo de los detalles de un proyecto específico.

Un nuevo enfoque para lidiar con la incertidumbre en las emisiones GEI, conocido como *Representative Concentration Pathways* (RCP), fue introducido como parte del Quinto Informe de Evaluación (AR5) del IPCC. A pesar de que la descripción de este enfoque trasciende el alcance de este material de orientación, lo mencionamos porque es relevante para los análisis basados en AR5. Para mayores argumentos acerca de las RCP, por favor refiérase a Moss et al. (2010). Nosotros tomamos nota de que las RCP — a pesar de que no representan predicciones o límites para emisiones potenciales — podrían (así como los escenarios SRES) posiblemente ser utilizadas para desarrollar un rango prospectivo de escenarios climáticos, ya que representan el rango de intensificación radiactiva de la literatura científica (al momento de su selección). Tomando en cuenta que el AR5 es un informe dinámico, los administradores de proyectos y los expertos científicos deberían examinar los desarrollos actualizados al momento de seleccionar sus escenarios de límites relacionados con emisiones.

"Es generalmente importante tomar en cuenta todas las fuentes de incertidumbre (Quintana Seguí et al., 2009), empero la cuestión de cómo tomar en cuenta estas incertidumbres no puede ser separada de otras decisiones fundamentales (por ejemplo, selección de resolución de escenarios y técnicas de reducción a escala)."

3.3 Considere Otras incertidumbres al Construir un Rango Prospectivo de Escenarios Climáticos

A diferencia del enfoque simple de la incertidumbre en emisiones presentada en el paso anterior, es menos sencillo lidiar con otras fuentes de incertidumbre. Es generalmente importante tomar en cuenta todas las fuentes de incertidumbre (Quintana Seguí et al., 2009), empero la cuestión de cómo tomar en cuenta estas incertidumbres no puede ser separada de otras decisiones fundamentales (por ejemplo, selección de resolución de escenarios y técnicas de reducción a escala). Estas otras decisiones son controladas en sí por limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos. A fin de ilustrar el desafío al que se enfrentan el administrador del proyecto y los expertos científicos en la consideración de las fuentes de incertidumbre, dos casos hipotéticos para el desarrollo de escenarios climáticos son considerados en el Recuadro 4 e ilustrados en las Figuras 8a y 8b.

Recuadro 4: Casos hipotéticos para el desarrollo de escenarios climáticos

Utilizando la Figura 6 como fundamento, se consideran dos casos extremos para el desarrollo de escenarios climáticos. El primer caso presenta una situación en donde el desarrollo de escenarios climáticos no se encuentra constreñido por ningún tipo de limitación de datos, financiera, informática o de personal. El segundo caso presenta una situación en donde el desarrollo de escenarios climáticos está sustancialmente limitado por restricciones de datos, financieras, informáticas y de personal. Las Figuras 8a y 8b presentan el rango de la complejidad de análisis y la resolución espacio-temporal, que son potencialmente consistentes con estos casos no limitados y limitados, respectivamente.

A pesar de que el administrador del proyecto podría esperar un desarrollo directo de escenarios climáticos en el caso sin limitaciones (Figura 8a), aún se requerirán de debates sustanciales a fin de identificar un equilibrio óptimo entre la complejidad del análisis y la resolución del escenario. En la Figura 8a, el área sombreada indica las "mejores" opciones para el desarrollo de escenarios climáticos. Claramente, no existe un enfoque único y óptimo para el desarrollo de escenarios climáticos, aun para este caso sin limitaciones. El administrador del proyecto siempre contará con múltiples opciones — en especial para contabilizar las fuentes de la incertidumbre — que deben ser discutidas con los expertos científicos.

Para el escenario de limitaciones sustanciales (Figura 8b), el administrador del proyecto estará limitado a escenarios de baja resolución y a técnicas básicas de reducción a escala. Ciertamente, una de las más críticas limitaciones está relacionada con la disponibilidad de los datos de observación. Sin datos de observación, la mayoría de las técnicas de reducción a escala no podría ser utilizada, de modo que el desarrollo de escenarios climáticos está limitado a resultados GCM de bajo nivel. El resultado GCM podría aún ser analizado con limitaciones hipotéticamente significativas ya que los datos se encuentran fácilmente accesibles en los archivos AR4 del IPCC. De hecho, una opción potencialmente útil en este caso sería utilizar los pronósticos ya preparados por el IPCC para varias regiones (ver Christensen et al., 2007).

DEFINICIÓN

Escenario B1 del SRES

La trama B1 describe un mundo convergente con una población global que llega a su pico a mediados del siglo y luego declina. Asume cambios rápidos en estructuras económicas hacia una economía de servicio y de información. Este cambio conlleva hacia reducciones en la intensidad del material así como a la introducción de tecnologías limpias y con una buena relación recurso-eficiencia. El énfasis es puesto en soluciones globales hacia la sostenibilidad económica, social y ambiental, incluyendo una equidad mejorada. Sin embargo, no se incluyen iniciativas climáticas adicionales.

Figura 8: Relaciones entre la complejidad de análisis y la resolución para dos escenarios hipotéticos de limitaciones de datos, financieras, informáticas y de personal en el desarrollo de escenarios climáticos

Figura 8a: Sin limitaciones

El desarrollo de escenarios climáticos no se encuentra restringido por limitaciones de datos, financieras, informáticas y de personal.

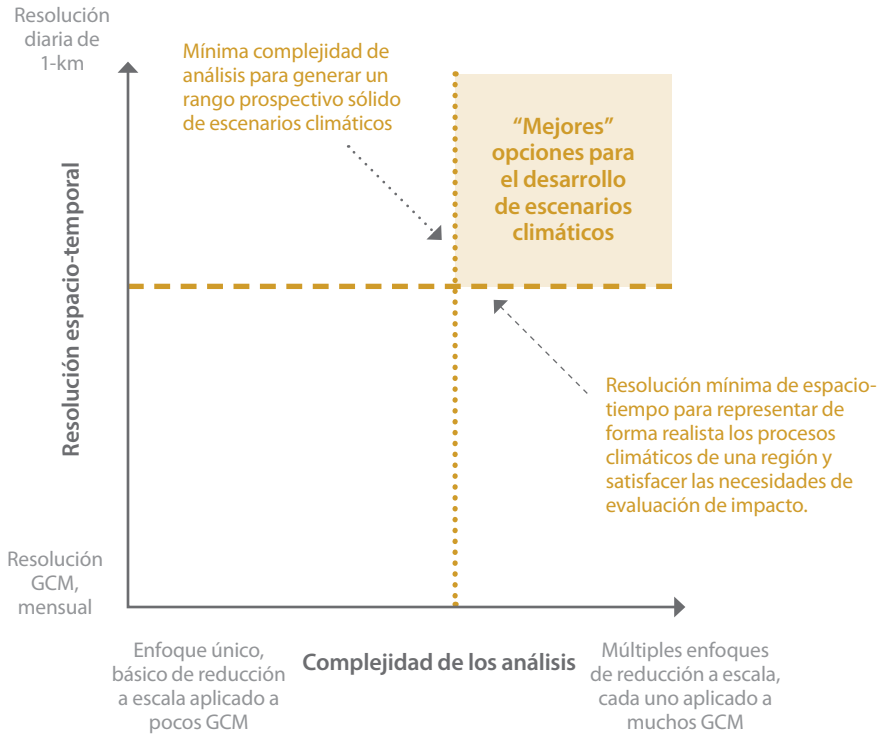
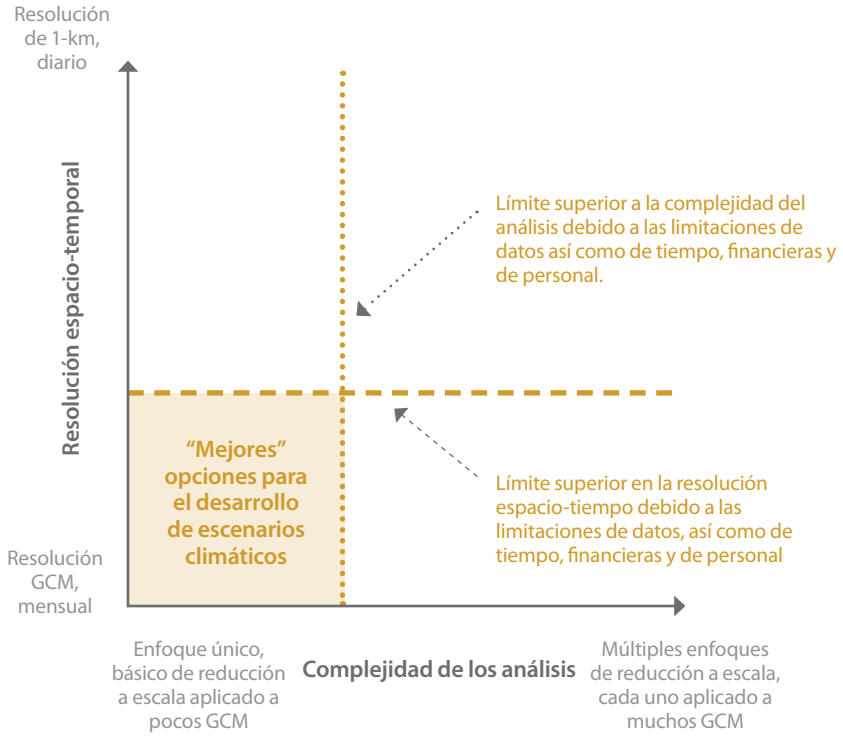


Figura 8b: Limitaciones Sustanciales

Sostenibilidad en el desarrollo de escenarios climáticos limitada por datos, finanzas, informática y personal.



3.4 Tome Decisiones Informadas a Pesar de la Incertidumbre en los Escenarios Climáticos

Las distintas fuentes de incertidumbre representan la principal razón del porqué las opciones del desarrollo de escenarios climáticos no son particulares, aun para los casos hipotéticos presentados en el Recuadro 4. El administrador de proyectos a menudo contará con muchas opciones acerca de cómo considerar la incertidumbre. Lamentablemente, no existe una metodología establecida en la literatura científica que dicte cuán extensos deberían ser los análisis de incertidumbre. De hecho, la mayoría de los esfuerzos científicos para el desarrollo de escenarios climáticos de alta resolución no consideran totalmente todas las fuentes de incertidumbre. En definitiva, el administrador de proyectos y sus equipos deben basar sus decisiones en los factores identificados como resultado de los Pasos 1 y 2 de esta guía, así como en una revisión de la incertidumbre tratada en este capítulo. Debates abiertos y continuos entre los miembros del equipo ayudarán a todas las partes en la gestión efectiva de la incertidumbre y en la orientación del desarrollo de escenarios.

Resumen

"Debates abiertos y continuos entre los miembros del equipo ayudarán a todas las partes en la gestión efectiva de la incertidumbre y en la orientación del desarrollo de escenarios."

Dentro del contexto del diseño de políticas, los debates basados en incertidumbre son críticos ya que clarifican la mejor información disponible de escenarios climáticos al administrador de proyectos y a los responsables. Estos esfuerzos permitirán la caracterización y, hasta donde sea posible, la cuantificación de la incertidumbre científica. Con esta información adicional, las implicaciones potenciales de la incertidumbre en los resultados de interés para los responsables estarán claras (por ejemplo, McMichael et al., 2003).

El desafío en la toma de decisiones en presencia de incertidumbre no es el dominio único del cambio climático; las decisiones de políticas son tomadas cada día aun con incertidumbre para un amplio rango de cuestiones. Los formuladores de políticas pueden, de hecho, tomar acción en la anticipación del cambio climático a pesar de la existencia de incertidumbre. McMichael et al. (2003) indican que existen muchos criterios para la toma de decisiones sobre políticas relacionadas con el clima, incluyendo el principio de precaución y el análisis de la relación costo-beneficio. Aunque el debate acerca de estos enfoques está más allá del alcance de esta guía, el punto clave es que es esencial una comprensión de la incertidumbre y de sus varias fuentes; caso contrario, los escenarios climáticos desarrollados podrían dar lugar a equívocos. En última instancia, los escenarios climáticos deberán ayudar a que el administrador de proyectos y los responsables tomen decisiones informadas acerca de los impactos probables del cambio climático.

En el Capítulo 4, esta guía ofrece información acerca del rango de técnicas de reducción a escala disponibles para ayudar al administrador de proyectos y a su equipo de expertos a tomar decisiones informadas acerca de la selección de técnicas. Debido a que la modelización del clima — tanto global como regional — representa a áreas activas de investigación, el administrador de proyectos debe tener cuidado al utilizar y analizar los resultados provenientes del esfuerzo de reducción a escala.

Capítulo 4

Métodos para el Desarrollo de Escenarios Climáticos

Desarrolle y Documente los Escenarios Climáticos (Paso 4)

- Revise los Procedimientos Generales para el Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 4.1)
- Escoja un Modelo de Cambio Climático (Paso 4.2)
- Documente el Proceso de Desarrollo de Escenarios Climáticos (Paso 4.3)

4 Desarrolle y Documente los Escenarios Climáticos

Introducción

En los capítulos previos, la orientación para el administrador de proyectos y los responsables se enfocó en cómo identificar las necesidades y limitaciones regionales, definir una estrategia realista basada en limitaciones existentes, y manejar la incertidumbre en el desarrollo de escenarios climáticos. Este capítulo ofrece un resumen de los procedimientos generales para el desarrollo de escenarios climáticos y las principales opciones disponibles para el desarrollo de escenarios climáticos de alta resolución. Se ofrece para de asistir al administrador del proyecto en sus interacciones con los expertos científicos conforme consideren alternativas potenciales para el desarrollo de escenarios climáticos. La información presentada no pretende ofrecer una descripción técnica integral de las técnicas de reducción a escala. En su lugar, la meta es ofrecerle al lector una introducción a las principales técnicas de reducción a escala que podría decidir utilizar durante el desarrollo de los escenarios climáticos. Las técnicas de resolución a escala pueden ofrecer detalles a más alta resolución espacio-temporal que aquellos modelos climáticos mundiales, lo cual puede ser útil para los planificadores a los niveles local y regional. Este capítulo busca empoderar al administrador del proyecto para que interactúe con los expertos climáticos mientras desarrollan los escenarios climáticos. Se dan más detalles científicos acerca de técnicas de reducción a escala en la Tabla 1.

"Las técnicas de reducción a escala pueden ofrecer detalles a más alta resolución espacio-temporal que los modelos de clima global, lo cual puede ser útil para los planificadores a los niveles local y regional."

PASO 1
EVALÚE Y DETERMINE LAS NECESIDADES DE DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 2
IDENTIFIQUE LAS LIMITACIONES REGIONALES Y DESARROLLE UN PLAN REALISTA PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 3
COMPRENDA LA INCERTIDUMBRE Y CONSTRUYA UN RANGO PROSPECTIVO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 4
DESARROLLE Y DOCUMENTE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

4.1 Revise los Procedimientos Generales para el Desarrollo de Escenarios Climáticos

Un primer paso para producir escenarios de cambio climático es revisar y comprender los procedimientos generales para el desarrollo de escenarios climáticos. A continuación se ofrece un resumen de dichos procedimientos. Fija el contexto para la reducción a escala a fin de producir escenarios climáticos de alta resolución y brinda al administrador de proyectos una clara comprensión del proceso de desarrollo de escenarios climáticos (por ejemplo, Diaz-Nieto y Wilby, 2005; Lu, 2006).

Procedimiento de Desarrollo de Escenarios Climáticos

Procedimiento 1: Establezca un clima de línea base a lo largo de un período de tiempo para una región geográfica específica (conocido como el clima de observación de línea base). Éste debe desarrollarse a una resolución espacial y temporal que ofrezca suficiente información para el desarrollo de futuros escenarios climáticos. Es decir que, si se requieren escenarios climáticos de alta resolución, entonces los datos climáticos de línea base deben ser de resolución comparable.

Procedimiento 2: Calcule un cambio basado en modelo entre el clima presente y futuro utilizando GCM (o algún otro método).

Procedimiento 3: Construya un escenario climático futuro agregando el cambio basado en modelos al clima de línea base.

4.2 Escoja un Modelo de Cambio Climático

El procedimiento general perfilado en el Paso 4.1 especifica que los modelos climáticos son típicamente utilizados como información de cambios climáticos. A pesar de que los GCM representan fuentes primarias para escenarios de cambios climáticos, no son la única opción. Existen enfoques más básicos para las predicciones de cambios climáticos — el enfoque temporal o espacial analógico y el enfoque arbitrario — que los administradores de proyectos y los responsables podrían también considerar como opciones de desarrollo de escenarios. Se ofrece una breve exposición de los enfoques analógicos y de cambio arbitrario en las Tablas 6 y 7 antes de presentar técnicas más complejas de reducción a escala. Este formato es utilizado para presentar la información de una manera clara y concisa, resaltar las ventajas y desventajas de cada enfoque y ofrecer un ejemplo real para ilustrar la técnica básica.

Enfoque Analógico y Arbitrario

En cuanto se refiere a la resolución de escenarios climáticos, los enfoques analógicos y de cambio arbitrario descritos a continuación son distintos de aquellos escenarios basados en GCM. La resolución para estos enfoques dependerá de los datos de observación utilizados para construir la línea base climática. Por tanto, si los datos de observación y el clima de línea base disponibles son de bajo nivel, el administrador del proyecto podría considerar una técnica de reducción a escala sobre una de los enfoques básicos para desarrollar un clima de línea base de alta resolución. Las explicaciones de técnicas de reducción a escala que se presentan en este capítulo están limitadas a su utilización con escenarios de cambio climático basados en los GCM.

"Existen enfoques más básicos para las predicciones de cambios climáticos — el enfoque temporal o espacial analógico y el enfoque arbitrario — que los administradores de proyectos y los responsables podrían también considerar como opciones de desarrollo de escenarios."

Tabla 6: Enfoque temporal y espacial analógico

El enfoque temporal o espacial analógico involucra la construcción de análogos temporales o espaciales utilizando datos climáticos históricos. Los datos utilizados como análogos temporales y espaciales son del pasado o de otra ubicación (Wilby et al., 2004).	
Ventajas	**Desventajas**
• Acceso relativamente fácil a datos climáticos históricos • Análisis simples relacionados con cambios climáticos	• Dificultad para encontrar datos provenientes de otra ubicación que sean lo suficientemente similares con el área en cuestión • Los análogos podrían no representar climas futuros de forma realista • Típicamente existen pocas variables climáticas
Ejemplo	
Predicción de la temperatura veraniega en una ubicación dada: Con la utilización del enfoque temporal o espacial, los datos de temperatura en una ubicación dada para los meses de verano a lo largo de un período específico de tiempo (por ejemplo, el año pasado) serían obtenidos y las suposiciones serían realizadas en el futuro basado en condiciones pasadas. Esta aproximación asume, por ejemplo, que si el verano de un año anterior en una ubicación dada fue particularmente caliente, y este tipo de estación de verano se espera que sea más común en el futuro (por ejemplo, de acuerdo con las tendencias de observación o aquellas basadas en modelos), entonces la frecuencia de tal evento puede ser incrementada como una aproximación de condiciones climáticas futuras.	
Comentario	
Este enfoque podría no ofrecer los resultados más precisos. Los administradores de proyectos y sus equipos deberían discutir si se podría instaurar un nivel más alto de confianza en los escenarios climáticos desarrollados con técnicas más detalladas de reducción a escala. Deberían también considerar los costos y beneficios de análisis más detallados relativos a este enfoque.	

Tabla 7: Enfoque de cambio arbitrario

El enfoque de cambio arbitrario asigna cambios aleatorios, a intervalos regulares, a distintas variables (por ejemplo, temperatura y precipitación) de la línea base climática establecida, pasando por alto la necesidad de utilizar técnicas de escenarios climáticos más complicadas (por ejemplo, Lu, 2006).	
Ventajas	**Desventajas**
• Un mínimo esfuerzo es invertido en el desarrollo de escenarios climáticos (esto es, los resultados de GCM, técnicas de resolución a escala y análisis de incertidumbre) • Crea tiempo libre para enfocarse en el modelaje y en la evaluación de las estrategias de una región, las cuales son importantes para las LECRDs	• Los cambio climáticos de línea base son arbitrarios; las probabilidades no se pueden asignar a varios cambios climáticos asumidos
Ejemplo	
Desarrollo de escenarios climáticos para el sector agrícola: Si al usuario final de los escenarios climáticos le preocupa el sector agrícola, entonces se podrían aplicar incrementos de temperatura de 1°C, 2°C, y 3°C conjuntamente con cambios en la precipitación de ±5% y ±10%, a un modelo de cultivo. Este enfoque esencialmente representa un análisis de sensibilidad a fin de entender la respuesta (incluyendo la identificación de no linealidades y umbrales críticos) de un sector específico a cambios incrementales en el clima.	
Comentario	
Este enfoque podría no ofrecer los resultados más precisos. Los administradores de proyectos y sus equipos deberán debatir si se podrá colocar un grado más alto de confianza en los escenarios climáticos desarrollados con técnicas de resolución a escala más detallados. Deben además considerar los costos y beneficios de análisis más detallados en relación con esta aproximación.	

Técnicas de reducción a escala para escenarios climáticos de alta resolución

Las técnicas de reducción a escala son generalmente utilizadas para combinar información climática de escala menor conjuntamente con otros datos de resolución más alta a fin de producir pronósticos de variables climáticas a resoluciones más altas. La mayoría de las técnicas combinan datos de observación de resolución más alta (por ejemplo, observaciones históricas del clima, topografía) con pronósticos de modelos climáticos. Existen tres categorías principales de técnicas de resolución a escala.

- Básica
- Dinámica
- Estadística

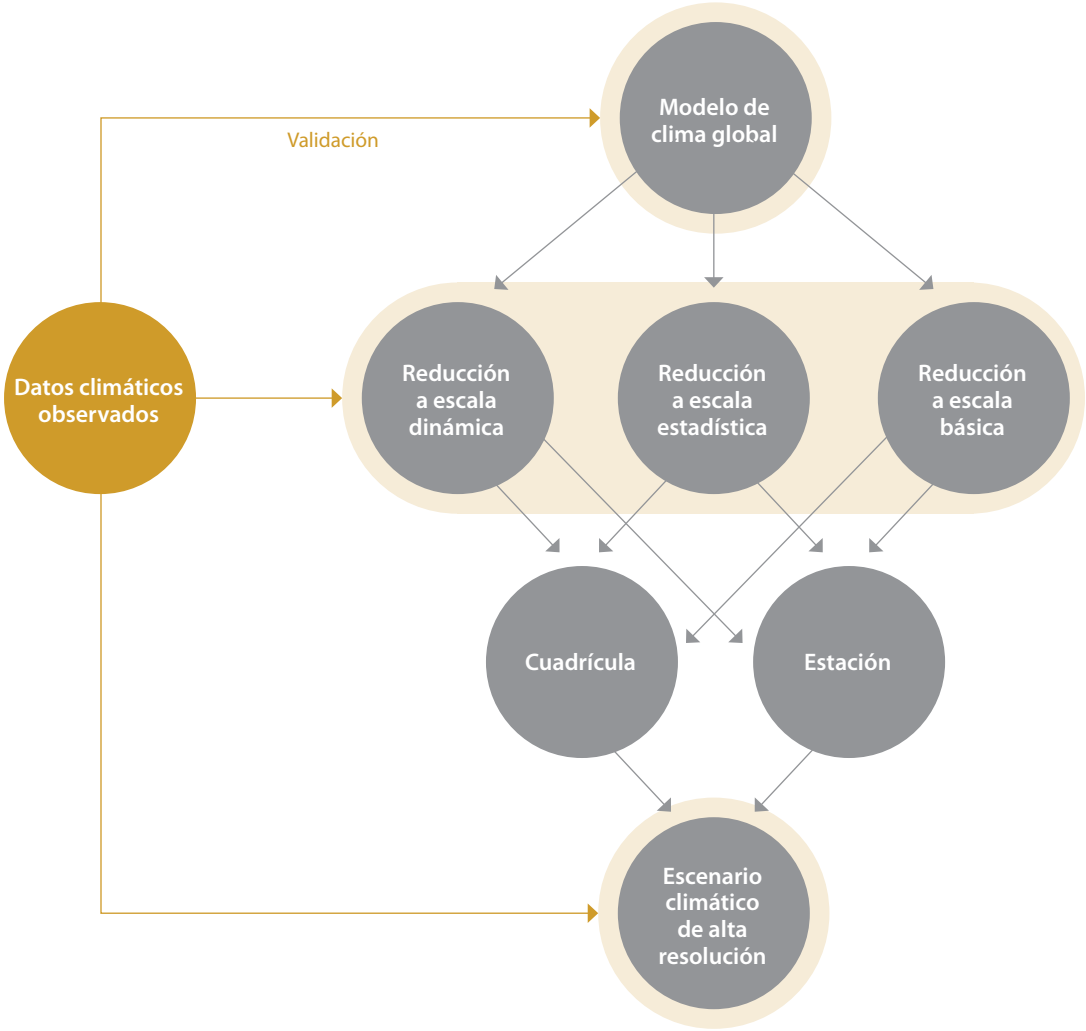
La Figura 9 presenta cómo se relacionan estas tres categorías a los resultados GCM y a los datos de observación como parte del proceso de desarrollo de escenarios climáticos. Como se demuestra, los datos en base a observaciones son esenciales a todas las técnicas de resolución a escala.

DEFINICIÓN

Enfoque de Cambio Arbitrario

El enfoque de cambio arbitrario representa un enfoque básico para los pronósticos de cambio climático que asigna cambios especificados, a intervalos regulares, a distintas variables (por ejemplo, temperatura y precipitación) de la línea base climática establecida, pasando por alto el uso de técnicas más complejas de escenarios climáticos.

Figura 9: Diagrama esquemático de las tres principales técnicas de reducción a escala como parte del proceso de desarrollo de escenarios climáticos



Nota: Basado en la Figura 1 de Ziervogel y Zermoglio (2009).

"Las técnicas de reducción a escala son generalmente utilizadas para combinar la información de escala menor con otros datos de resolución más alta a fin de producir pronósticos sobre variables climáticas a resoluciones más altas."

DEFINICIÓN

Enfoques de Reducción a Escala Básica

Existen varios enfoques de reducción a escala básica. Dos métodos populares son los métodos de "factor-cambio" y "no inteligente". El método del factor de cambio aplica directamente cambios derivados de los GCM en el clima a una climatología de línea base. El método "no inteligente" involucra una interpolación espacial simple entre los puntos centrales de las cuadrículas a fin de obtener estimativos a los puntos intermedios deseados correspondientes a aquellos de una climatología de línea base de más alta resolución.

Enfoques de reducción a escala básica

Las tres categorías de técnicas pueden ser combinadas para mejorar y optimizar el desarrollo de escenarios climáticos (Quintana Seguí et al., 2009). Por motivos de claridad de presentación, sin embargo, son presentados de forma individual.

Existen varios enfoques de reducción a escala básica disponibles al administrador de proyectos y a su equipo de expertos científicos y técnicos. Un método muy popular para obtener una resolución espacial más alta para predicciones de variables climáticas se conoce como el método "factor-cambio" o método "delta" (Wilby et al., 2004).

PASO 1
EVALÚE Y DETERMINE LAS NECESIDADES DE DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 2
IDENTIFIQUE LAS LIMITACIONES REGIONALES Y DESARROLLE UN PLAN REALISTA PARA EL DESARROLLO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 3
COMPRENDA LA INCERTIDUMBRE Y CONSTRUYA UN RANGO PROSPECTIVO DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

PASO 4
DESARROLLE Y DOCUMENTE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS

MÉTODO DEL FACTOR DE CAMBIO

El método de factor de cambio aplica directamente cambios climáticos derivados de los GCM a datos climáticos de línea base como se los describe en los procedimientos generales para el desarrollo de escenarios climáticos en el Paso 4.1. Dentro del contexto de reducción a escala, sin embargo, se asume que el clima de línea base se encuentra a resoluciones más altas que aquellas resoluciones de un modelo climático mundial. En consecuencia, los escenarios climáticos de alta resolución se obtienen a través de una combinación de datos de línea base de alta resolución, conjuntamente con cambios climáticos provenientes de modelos de clima global. Este enfoque cuenta con costos informáticos relativamente bajos, y ha sido utilizado en muchos estudios (Arnell, 2003; Diaz-Nieto y Wilby, 2005; Horton et al., 2010). Este enfoque presenta algunas limitaciones de las que el administrador de proyectos y los responsables deberían conocer conforme consideren su(s) enfoque(s) de reducción a escala. A continuación podrá encontrar un resumen de estas limitaciones.

Limitaciones a las Técnicas de Reducción a Escala Básica

- Los escenarios climáticos futuros difieren del clima de línea base en términos del promedio, los máximos y los mínimos. Todo dato estadístico adicional permanece igual.
- Se asume que los patrones climáticos espaciales permanecen sin cambios en el futuro.
- El método necesita ser ajustado para la precipitación (por ejemplo, Arnell y Reynard, 1996), debido a que la adición (o multiplicación) de la precipitación observada mediante precipitación de los GCM puede alterar el número de días de lluvia y el tamaño de eventos extremos (Wilby et al., 2004). Adicionalmente, si un estudio involucra una serie de tiempo de datos climáticos diarios, la secuenciación temporal de días lluviosos y secos, permanecerá sin cambios.
- El método puede ser utilizado para explorar las fracciones de tiempo, empero no los cambios transitorios.

Fuente: Diaz-Nieto y Wilby, 2005

A pesar de las limitaciones sustanciales en las técnicas de reducción a escala básica, son útiles al administrador de proyectos en algunos casos. Dos ejemplos incluyen aquellas situaciones en donde las limitaciones de la técnica no son importantes en análisis subsiguientes que utilizarán los datos (ver la Figura 3) o en aquellos casos en donde existan limitaciones significativas en el desarrollo de escenarios climáticos (por ejemplo, restricciones financieras, de personal e informáticas) y otros enfoques no son viables.

MÉTODO NO INTELIGENTE

Adicionalmente al método del factor de cambio, el administrador de proyectos podría considerar utilizar otro enfoque básica similar conocido como la técnica de reducción a escala "no inteligente". Este enfoque involucra interpolación espacial simple entre los puntos centrales de la cuadrícula del GCM a fin de obtener estimativos a los puntos intermedios deseados que correspondan a aquellos en un conjunto de datos climáticos de línea base a resolución más alta (Wilby et al., 2004). Las ventajas y desventajas de este enfoque son esencialmente las mismas que para el método de factor de cambio (ver la Tabla 8).

DEFINICIÓN

Fracciones de Tiempo

Una fracción de tiempo se refiere a un período de tiempo para el cual se brindan proyecciones. El período de tiempo usualmente se encuentra centrado en torno a una década dada. Por ejemplo, una fracción de tiempo de los años 2050 se refiere al período entre los años 2040–2069.

Tabla 8: Resumen de las ventajas y desventajas de los métodos de "factor-cambio" y de reducción a escala "no inteligentes"

Ventajas	Desventajas
• Simple	• Los escenarios climáticos futuros solamente difieren del clima de línea base en términos del promedio, el máximo y el mínimo *(todas las otras estadísticas se mantienen igual)* • Se asume que los patrones climáticos espaciales permanecen sin cambios en el futuro
• Costos informáticos bajos	• El método necesita ser ajustado en cuanto a la precipitación (por ejemplo, Arnell y Reynard, 1996), ya que la adición (o multiplicación de la precipitación observada por precipitación en el GCM puede alterar el número de días de lluvia y el tamaño de eventos extremos (Wilby et al., 2004) • La secuenciación de días secos y de lluvia permanece sin cambios si un estudio involucra series temporales de datos climáticos diarios
• Utilizado en muchos estudios	• El método puede ser utilizado para explorar fracciones de tiempo aunque no cambios transitorios

"Adicionalmente al método del factor de cambio, el administrador de proyectos podría considerar utilizar un enfoque similar básica conocido como la técnica de reducción a escala "no inteligente"."

Métodos de reducción a escala dinámica

La reducción a escala dinámica es otro enfoque utilizado para producir escenarios climáticos de alta resolución, en donde los procesos del sistema terrestre son matemáticamente representados de un modo similar a los GCM, aunque a una resolución mucho más alta que los típicos modelos de clima global. A diferencia de los GCM, se utiliza el enfoque de reducción a escala dinámica para entender las dinámicas solamente para una porción de la superficie de la Tierra. Por tanto, la reducción a escala dinámica es más compleja que los métodos de reducción a escala básicos; requiere de una cantidad considerable de datos de observación y de análisis de sensibilidad (por ejemplo, para la selección de parámetros y configuraciones de modelos) para un uso apropiado en una ubicación dada. Dependiendo de las restricciones al desarrollo de escenarios climáticos, no siempre representan una opción viable.

DEFINICIÓN

Reducción a Escala Dinámica

La reducción a escala dinámica se refiere al uso de técnicas que matemáticamente representan procesos del sistema terráqueo a espacios de alta resolución (en comparación con los GCM típicos) para producir escenarios climáticos de alta resolución.

El enfoque de reducción a escala dinámica normalmente emplea tres estrategias principales:

- Modelaje de área limitada con modelos climáticos regionales (RCM)
- Modelaje de los GCM con cuadrículas alargadas.
- GCM uniformes de alta resolución (también conocidos como "simulaciones climáticas de 'fracción de tiempo") (Bader et al., 2008)

Estos enfoques dinámicos requieren de una cantidad sustancial de datos de observación y de análisis de sensibilidad (por ejemplo, para la selección de los parámetros y las configuraciones del modelo) para su uso apropiado en una locación dada.

Este paso ofrece una descripción básica de cada uno de estos enfoques. Sin embargo, debido a que los métodos son complejos, el administrador de proyectos y los responsables deberán primeramente entender cuándo un enfoque dinámico representa una opción viable para la región. Existen varios factores importantes que el administrador de proyectos deberá considerar cuando determine la viabilidad, incluyendo la capacidad científica y la experiencia, suficientes recursos financieros y la calidad de la línea base de observación disponible.

Factores para Evaluar la Viabilidad del Enfoque de Reducción a Escala Dinámica

- **Capacidad y experiencia científica:** El uso apropiado de reducción a escala para una región requiere de una sustancial capacidad y experiencia científica. Como tal, los expertos científicos familiarizados con el modelaje climático para el área de interés, deberán estar disponibles para el administrador de proyectos y para los responsables en la ejecución de esta tarea. Idealmente, este tipo de modelaje deberá basarse en esfuerzos previos en el modelaje del clima de la región. (Un esfuerzo internacional que pronto podría ofrecer esta información para muchas regiones es el *Coordinated Regional climate Downscaling Experiment* [CORDEX]. Puede encontrar información en http://wcrp.ipsl.jussieu.fr/RCD_CORDEX.html.) En ausencia de la pericia científica y experiencia previa disponibles, los enfoques de reducción a escala dinámicos podrían ser considerados no viables debido a la complejidad del método.
- **Recursos:** La reducción a escala dinámica es generalmente el método más intensivo en datos y en requerimiento informático, y requiere de recursos sustanciales para sus análisis. Sin una adecuada pericia técnica, recursos financieros y equipos, la resolución a escala dinámica será difícil de llevar a cabo.
- **Línea base de observación:** Al igual que todos los métodos de reducción a escala, se requiere de observaciones de buena calidad a fin de establecer la climatología de línea base. Sin una climatología de línea base de buena a alta calidad, la utilidad de una resolución a escala con un método dinámico complejo sería cuestionable.

Ya equipados con un entendimiento de las limitaciones, el administrador de proyectos y su equipo de expertos estarán preparados para revisar las principales opciones para los enfoques de reducción a escala dinámica. A continuación presentamos un resumen de los enfoques. Esto deberá ofrecerle al administrador de proyectos una comprensión básica de este enfoque. La comprensión del nivel de análisis asociado con cada enfoque asistirá al administrador de proyectos en la selección del método de reducción a escala. En la práctica, el método de selección depende en gran medida de la experiencia y destrezas que poseen los expertos científicos en la región.

ENFOQUE DE ÁREA LIMITADA

El enfoque de área limitada involucra escoger un dominio de modelo que cubra solamente una porción de la superficie de la Tierra (típicamente un continente o menos) y utilizar un modelo climático para simular las dinámicas dentro de aquel dominio. Este enfoque requiere de información adicional acerca de qué está sucediendo en los límites del dominio seleccionado. La información adicional es típicamente un resultado de los GCM provenientes de las áreas alrededor del dominio seleccionado, o de datos de observación provenientes de análisis atmosféricos (Bader et al., 2008). Una estrategia comúnmente asociada con este enfoque es el uso de múltiples cuadrículas anidadas dentro de una simulación más baja de las RCM a fin de lograr resoluciones más altas en las subregiones de interés (por ejemplo, Bader et al., 2008; Hay et al., 2006; Liang et al., 2001).

DEFINICIÓN

Dominio del Modelo

Un dominio del modelo es la región para la cual son simuladas las dinámicas (sistema climático).

MODELAJE DE CUADRÍCULA ALARGADA

A diferencia del enfoque de área limitada, este enfoque incluye simulaciones mundiales integrales con un GCM. Un GCM es modificado a fin de contar con una cuadrícula con una resolución espacial variante, en donde las resoluciones más altas son escogidas para una o más regiones de interés (Bader et al., 2008).

MODELAJE UNIFORME DE ALTA RESOLUCIÓN

El modelaje uniforme de alta resolución (simulación climática de fracción de tiempo) incluye además simulaciones integrales de nivel mundial con un GCM. Cuenta con una cuadrícula de alta resolución extendida a lo largo del globo terráqueo, a pesar de que los análisis aún se enfocan en regiones particulares de la Tierra. Este método demanda ingentes recursos informáticos. Como tal, solamente puede ser utilizado por períodos de simulación relativamente cortos (de ahí su otro nombre: simulación climática de fracción de tiempo).

Estos métodos dinámicos son comúnmente utilizados para producir escenarios climáticos a resoluciones de varias decenas de kilómetros, empero la resolución es a veces incrementada a unos cuántos kilómetros cuando se emplean nidos múltiples (Bader et al., 2008). En algunos casos, la resolución a escala dinámica podría ofrecerle ventajas claras al administrador de proyectos en referencia a la precisión de las predicciones. Por ejemplo, las simulaciones sobre una base física a una resolución más alta, podría mejorar el realismo de los escenarios climáticos. Éste fue el caso en un estudio tratado por Bader et al. (2008), el cual demostró que las RCM pueden mejorar los pronósticos de precipitación de monzones y la variabilidad interanual (a pesar de que patrones de circulación a gran escala no mostraron una mejora estadísticamente significativa) (Mo et al., 2005). Al mismo tiempo, Hay et al. (2006) demostraron que la simulación de alta resolución no siempre garantiza mejores resultados (específicamente para la programación e intensidad de la precipitación). Es importante enfatizar, por tanto, que las **simulaciones sobre una base física, de alta resolución no garantizan los mejores resultados.** Si la simulación de alta resolución mejora los pronósticos en una región dada, ésta dependerá, entre otras cosas, de las características de la región y de si representa un área de investigación científica. El administrador de proyectos con recursos sustanciales deberá tener cuidado de no asumir que el método más complejo brindará los escenarios climáticos más confiables.

"De si la simulación de alta resolución mejorará las predicciones dentro de una región dada, dependerá, entre otras cosas, de las características de la región y de si representa un área activa de investigación científica."

A continuación se muestra un resumen de las tres técnicas principales de reducción a escala (Tabla 9), así como una hoja de trabajo para evaluar la viabilidad de los enfoques de reducción a escala (Tabla 10).

Tabla 9: Resumen de las técnicas de reducción a escala dinámica

Reducción a Escala Dinámica	
Existen tres técnicas principales de reducción a escala dinámica: 1) modelaje de área limitada con una RCM; (2) modelaje de cuadrícula alargada con un GCM; y (3) Un GCM uniforme de alta resolución (también conocido como simulación climática de "fracción de tiempo").	
Ventajas	**Desventajas**
• La información climática es derivada de los modelos sobre bases físicas • Las variables climáticas están disponibles a una resolución espacial y temporal alta • Muchas variables climáticas están disponibles	• Informáticamente oneroso • Las cuestiones de determinación de parámetros son de desafío y dependientes de la escala • Los resultados son sensibles a la especificación del dominio
Ejemplo	
La Segunda Comunicación Nacional de Argentina incluyó escenarios climáticos de reducción a escala dinámica con el modelo muy conocido PSU/NCAR de mesoescala. El anexo presenta detalles adicionales.	
Comentario	
La reducción a escala dinámica es más compleja que los métodos de reducción a escala básica. Permite ofrecer simulaciones de alta resolución sobre bases físicas, aunque éstas no siempre garanticen los mejores resultados. De si la simulación de alta resolución mejora las predicciones en una región dada dependerá, entre otras cosas, de las características de la región y de si ésta representa un área activa de investigación científica.	

Nota: Ver la Tabla 1 de Mearns et al. (2003) para mayores detalles.

Tabla 10: Hoja de trabajo sugerida para evaluar la viabilidad de los enfoques de reducción a escala

Limitación	Disponibilidad	Comentario
Capacidad y experiencia científica		
Recursos		
Línea base de observación		

Métodos de reducción a escala estadística

Como lo demuestra la exposición anterior, la complejidad de las técnicas de reducción a escala cubre un amplio rango que va desde el método simple del factor de cambio, hasta los métodos más complejos de reducción a escala dinámica con modelos climáticos regionales. El administrador de proyectos y los responsables podrían desear echar un vistazo a un enfoque intermedio que busque un equilibrio entre la simplicidad y la complejidad. La reducción a escala estadística brega por alcanzar tal equilibrio, especialmente en términos de recursos informáticos.

DEFINICIÓN

Reducción a escala estadística

La reducción a escala estadística representa otro enfoque de reducción a escala para producir escenarios climáticos de alta resolución. Esta técnica involucra el desarrollo de relaciones estadísticas entre variables atmosféricas a gran escala (por ejemplo, resultados de GCM) y variables locales (por ejemplo, observaciones de estaciones meteorológicas).

La reducción a escala estadística involucra el desarrollo de relaciones estadísticas entre variables atmosféricas de gran escala (por ejemplo, resultados de GCM) y variables locales (por ejemplo, observaciones de estaciones meteorológicas). Por tanto, este método está basado en la influencia del estado climático a gran escala y las facetas fisiográficas regionales (por ejemplo, topografía, uso de tierras) dentro del clima de una región (Wilby et al., 2004). Una gran variedad de métodos estadísticos de reducción a escala ha sido desarrollada en la literatura científica. Estos métodos varían en términos de complejidad y enfoque. Para un administrador de proyectos, es útil por lo menos estar consciente de las tres amplias categorías para la reducción a escala estadística. Estas tres categorías clasificadas por Wilby et al. (2004), son (1) modelos de regresión, (2) clasificación del clima, y (3) generadores climáticos. A pesar de que las metodologías de estas técnicas varían significativamente, vale la pena que el administrador de proyectos comprenda los dos pasos principales comunes a estos enfoques.

Pasos principales comunes a todos los enfoques de reducción a escala estadística

- Un modelo estadístico es desarrollado a fin de relacionar las variables a gran escala (pronosticadores) con las variables locales (lo que será pronosticado).
- El resultado del GCM a gran escala es luego alimentado al modelo estadístico derivado a fin de producir un estimativo de las variables locales.

Los administradores de proyectos encontrarán interesante el enfoque estadístico ya que es barato, informáticamente, en relación con los enfoques que utilizan la reducción a escala dinámica. Adicionalmente, el enfoque podrá luego ser aplicado a los resultados provenientes de múltiples GCM a fin de proveer una distribución de predicciones climáticas futuros. A pesar de las ventajas de la reducción a escala estadística, el administrador de proyectos y su equipo de expertos también necesitan comprender las limitaciones del enfoque (ver el Recuadro 5). La debilidad teórica clave del enfoque es que no se sabe si las relaciones estadísticas derivadas para el clima actual permanecerán iguales para las condiciones climáticas futuras, lo que representa la principal suposición del enfoque (Wilby et al., 2004).

"Los administradores de proyectos con recursos sustanciales deben tener cuidado de no asumir que el método más complejo proveerá los escenarios climáticos más confiables."

Como método de complejidad intermedia, la reducción a escala estadística demanda más, informáticamente, que los métodos dinámicos. En términos de destreza, las reducciones a escala estadística y dinámica son comparables en la producción de escenarios climáticos precisos, mientras que los enfoques básicos son generalmente los de menor capacidad. Se debe resaltar, sin embargo, que el administrador de proyectos no debe seleccionar un método de reducción a escala basado en un criterio único (por ejemplo, destreza del método). La Tabla 11 ofrece un breve resumen de las técnicas estadísticas de reducción a escala.

Recuadro 5: Aplicación en la práctica de la reducción a escala estadística para ilustrar las limitaciones potenciales del enfoque

Como ejemplo de la vida real, podemos considerar las dinámicas de los monzones en la India. Si estuviésemos utilizando reducción a escala estadística para la India, podríamos derivar una relación estadística entre la pluviosidad observada en estaciones meteorológicas. Para pronósticos climáticos futuros, entonces utilizaríamos esta relación estadística, la cual fue derivada sobre la base del clima actual. Sin embargo, los monzones futuros podrían ser muy diferentes a aquellos de tiempos actuales, en especial en términos de su frecuencia e intensidad. En aquel caso, los pronósticos futuros derivados de la relación estadística de la actualidad, tendrían que ser reevaluados.

Tabla 11: Técnicas de reducción a escala estadística

Ventajas	Desventajas
• El costo de la informática es barata en relación con los enfoques dinámicos de reducción a escala • Genera información a alta resolución o en redes eléctricas no uniformes • Resultados aplicables provenientes de múltiples GCM para proveer un rango de pronósticos climáticos futuros	• Desconocidas acerca de si la relaciones estadísticas derivadas para el clima actual permanecerán iguales para el clima futuro (Wilby et al., 2004) • A menudo requiere de observaciones diarias
Ejemplo	
La reducción a escala estadística fue utilizada para producir futuros escenarios de precipitación para África meridional a fin de contribuir hacia decisiones relacionadas con inversiones agrícolas. El Anexo presenta detalles adicionales.	
Comentario	
La reducción a escala estadística no es onerosa para la informática en relación con los enfoques que utilizan reducción a escala dinámica. Adicionalmente, el enfoque puede aplicarse a los resultados provenientes de múltiples GCM a fin de proveer una distribución de predicciones climáticas futuras. A pesar de las ventajas de la reducción a escala estadística, el administrador de proyectos y sus equipos necesitan además comprender las limitaciones del enfoque.	

Nota: Ver la Tabla 1 de Mearns et al. (2003) y la Tabla 1 de Wilby et al. (2004) para mayores detalles.

4.3 Documente el Proceso de Desarrollo de Escenarios

"La opción del método y enfoque de modelo se basa en la acumulación de hechos obtenidos y en los análisis realizados a lo largo del proceso de desarrollo de escenarios climáticos. La calidad de los aportes de escenarios influencia la integridad y utilidad de los resultados del escenario e impulsa el tipo de modelo y enfoque seleccionados para una evaluación dada."

La documentación del proceso de desarrollo de escenarios climáticos representa un paso importante que debe seguir el administrador de proyectos y su equipo de expertos. Provee una historia escrita que puede ser compartida con otros colegas como una herramienta de aprendizaje y como un estudio de caso de la vida real. En los países en desarrollo, en donde los recursos de todo tipo son finitos, este tipo de registro es de particular ayuda. El administrador de proyectos podría considerar útil crear una estructura de informe basada en el marco propuesto, y además utilizar las hojas de trabajo y tablas presentadas en esta guía a fin de recabar y resumir información clave. Otros equipos podrían beneficiarse del rango de información proveniente de la composición del equipo de desarrollo de escenarios, a una evaluación de las ventajas y desventajas de una técnica de resolución a escala en un caso específico, amén de una lista de importantes referencias consultadas. La documentación del proceso ofrece además a los administradores, información detallada para los usuarios finales y los donantes.

Resumen

La opción del método y enfoque del modelo se basa en la acumulación de hechos obtenidos y en los análisis realizados a lo largo del proceso de desarrollo de escenarios climáticos. La calidad de los aportes de los escenarios influencia la integridad y la utilidad de los resultados del escenario e impulsa el tipo de modelo y enfoque seleccionados para una evaluación dada. Existen enfoques básicos, tales como analógicos y arbitrarios, que no requieren de métodos informáticos onerosos o altamente técnicos a fin de derivar pronósticos. Estos métodos podrían ser menos precisos, empero no necesariamente, que las técnicas sofisticadas de resolución a escala revisadas en este capítulo, las cuales podrían ofrecer información climática a un nivel de resolución que sea lo suficientemente alto como para contribuir hacia decisiones a los niveles regional y local. Si el pronóstico es lo suficientemente preciso a este nivel, las políticas pueden ser instauradas a fin de asistir a aquellas áreas con estrategias de desarrollo bajas en emisiones y adaptadas al clima que promocionen metas importantes de desarrollo y protegen contra los impactos negativos potenciales (y que además capitalizan en aquellos impactos positivos) asociados con el cambio climático.

La documentación acerca de cómo se crearon los equipos, y de cómo se tomaron las decisiones a lo largo del proceso de desarrollo de escenarios climáticos, es importante ya que sirve como un mapa de ruta para proyectos futuros. Puede además asistir a los miembros del equipo a lo largo del camino en volver a rastrear sus pasos y en comprender sus opciones. Adicionalmente, la documentación informa a los usuarios finales acerca de qué entrañó la obtención del producto final, incluyendo todas las suposiciones relevantes y parámetros de incertidumbre.

En resumen, los escenarios climáticos son inciertos por naturaleza, aunque pueden servir como una herramienta útil de planificación. El marco del PNUD presentado en esta guía ofrece una estructura para el desarrollo de escenarios climáticos que busca construir rangos relevantes de escenarios que fortalezcan las políticas y apoyen a futuros desarrollos bajos en emisiones y adaptados al clima.

Capítulo 5

Conclusión

Conclusión

Esta guía presentó un marco para el desarrollo de escenarios climáticos a fin de apoyar las estrategias de desarrollo bajo en emisiones y adaptado al clima. Ofreció un proceso paso a paso para guiar al administrador de proyectos y a su equipo de expertos a lo largo de todo el proceso de desarrollo de escenarios climáticos: desde la identificación de las necesidades hasta la selección de modelos y de técnicas de reducción a escala. Debido a que el desarrollo de escenarios climáticos es de naturaleza altamente técnica y compleja bajo cualquier conjunto de circunstancias, esta guía es especialmente valiosa para aquellos países en desarrollo en donde los recursos técnicos y financieros no son necesariamente abundantes. Observar el marco prescrito facilitará el proceso de desarrollo de escenarios y asistirá a los países en desarrollo conforme ellos miren hacia el futuro para poder simultáneamente adaptarse al cambio climático y buscar el desarrollo sostenible.

"Los administradores de proyectos y los responsables en países en desarrollo se beneficiarán de la estructura y del contenido del marco ya que ofrece una orientación paso a paso, y además una organización, dentro de una tarea que de otra manera sería abrumadora."

El resumen de este informe fijó el contexto de por qué podría ser útil el marco de desarrollo de escenarios climáticos para los países en desarrollo. El administrador de proyectos y los responsables en países en desarrollo se beneficiarán de la estructura y del contenido del marco ya que ofrece orientación paso a paso, además de organización, para una tarea que de otra forma sería abrumadora.

El primer capítulo de esta guía presentó el primer paso en el proceso de desarrollo de escenarios climáticos: (1) la formación de un equipo interdisciplinario; (2) la determinación de las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos; y (3) la evaluación de las necesidades de desarrollo de escenarios climáticos. La creación de un equipo sólido de expertos es esencial en cualquier proyecto. Dada la complejidad en el desarrollo de escenarios climáticos, es de primordial importancia para este proceso. Los administradores de proyectos están en general bien equipados para gestionar el proceso de desarrollo de escenarios climáticos. Por diseño, su trabajo requiere que ellos dirijan gente, fondos, objetivos de proyecto y cronogramas. En muchos casos, sin embargo, el administrador de proyectos podría no estar muy bien versado en el modelaje del cambio climático. Por esta razón, él/ella necesitará identificar y agrupar a expertos técnicos y a usuarios finales para que brinden su asistencia a lo largo del camino. Los expertos técnicos ofrecen consejos y asesoran sobre cuestiones científicas, y los usuarios finales ofrecen perspectivas acerca de cómo serán utilizados los escenarios. Ambos aportes son críticos para el administrador de proyectos ya que así él/ella podrá equilibrar necesidades versus restricciones.

El Capítulo 2 del informe se enfocó en la identificación de las restricciones regionales específicas que tendrán impacto sobre el modelo y el enfoque que escogerá el administrador de proyectos para el desarrollo de escenarios climáticos. El paso en este capítulo se basó en las preguntas y en el trabajo que el equipo desarrolló en el Capítulo 1. Es aquí en donde el administrador de proyectos identifica las restricciones científicas y no científicas, y las equilibra versus las necesidades identificadas por los expertos técnicos y los usuarios finales del escenario. La conclusión de este paso deberá resultar en la producción de un plan realista de desarrollo de escenarios climáticos. En otras palabras, un plan que fije la ambición del escenario así como su nivel de complejidad en alineación con las restricciones existentes.

Una vez que el administrador de proyectos y su equipo de expertos hayan completado los Pasos 1 y 2, podrán avanzar hacia el siguiente paso presentado en el Capítulo 3: Incertidumbre y Desarrollo de Escenarios Climáticos. Este capítulo identificó la principal incertidumbre asociada con el desarrollo de escenarios climáticos y ofreció dos ejemplos acerca de cómo manejar la incertidumbre y seleccionar el modelo más apropiado y más efectivo de escenarios climáticos y, de ser relevante, la técnica de reducción a escala. Las Figuras en este Capítulo ilustraron de muy buena forma estas relaciones.

Es así que con una firme comprensión acerca de cuáles son las necesidades y restricciones para un escenario climático dado, así como un fuerte entendimiento acerca de la incertidumbre que se encontrarán durante el desarrollo del escenario climático, el administrador de proyectos y su equipo estarán listos para seleccionar un modelo climático apropiado y una técnica de reducción a escala en aquellos casos en donde tal aplicación sea considerada apropiada. El Capítulo 4 perfiló los procedimientos generales para el desarrollo de escenarios climáticos y ofreció un resumen de los principales métodos para el desarrollo de escenarios climáticos. Enfoques más básicos se encuentran resumidas en forma de alternativas en relación con las técnicas más complejas de reducción a escala. Luego de haber leído este capítulo, el administrador de proyectos y su equipo deberán contar con un panorama completo acerca de qué entrañará el proceso de desarrollo de escenarios climáticos, incluyendo su opción de enfoque del modelo.

La última tarea es documentar los resultados de cada paso. Es importante por propósitos institucionales registrar cómo los equipos llegaron a tomar las decisiones que tomaron. Informa además a los usuarios finales y a cualquier donante que busque un reportaje detallado. A pesar de que este punto es considerado como final, es uno de los pasos más importantes dentro del proceso de desarrollo de escenarios climáticos. Existen tablas y hojas de trabajo presentados a lo largo del informe que pueden ser utilizados como ejemplo para documentar los procesos de pensamiento y toma de decisiones.

El anexo a este informe ofrece estudios de caso sobre reducción z escala provenientes de países en desarrollo. Estos ofrecen un ejemplo acerca de experiencias de la vida real y resaltan la complejidad de la tarea en cuestión así como la importancia de seguir un marco sólido para el desarrollo de escenarios climáticos.

Las referencias mencionadas en el informe ofrecen al lector recursos adicionales así como también brindan crédito a estudios y autores que fueron consultados durante la redacción de este informe.

"Con una firme comprensión acerca de cuáles son las necesidades y restricciones para un escenario climático dado y con un fuerte entendimiento de la incertidumbre que se encontrará durante el desarrollo de escenarios climáticos, el administrador de proyectos y su equipo estarán listos para seleccionar un modelo climático apropiado, así como una técnica de reducción a escala en aquellos casos en donde la aplicación sea considerada apropiada."

Anexo

Estudios de Caso de Reducción a Escala

- **Estudio de caso 1** — Reducción a Escala de Escenarios Climáticos Futuros de GCM: Segunda Comunicación Nacional de Argentina a la CMNUCC
- **Estudio de caso 2** — Reducción a escala en Uruguay: Combinando un Enfoque de Modelo de Clima Regional con una Reducción a Escala Estadística para Apoyar las LECRDs
- **Estudio de caso 3** — Reducción a Escala en Precipitaciones para África Meridional: Evaluando Escenarios Futuros de Precipitación a Través del Desarrollo de Escenarios Climáticos Regionales

Estudios de Caso sobre Reducción a Escala

Aunque los debates sobre los principios básicos de reducción a escala en esta guía son altamente valiosos dentro del proceso de desarrollo de escenarios, se requiere de consideración individual para cada región. Los factores que diferencian a las regiones en términos del análisis de resolución a escala incluyen las características físicas y climáticas, tamaño de la región, disponibilidad de datos y el uso pretendido de los escenarios climáticos con escala reducida. Estos factores podrían incluso excluir el uso de ciertos enfoques de reducción a escala para ciertos casos.

Es importante que el administrador de proyectos comprenda cómo estos factores influencian el desarrollo de escenarios climáticos. La evaluación de distintos estudios de caso puede representar un medio importante para lograr esta comprensión. Esta sección presenta tres estudios de caso para ilustrar cómo fueron tratados estos factores en situaciones de la vida cotidiana. Cada estudio es distinto en términos de característica regional y uso pretendido de los escenarios climáticos.

Estudio de caso 1: Desarrollo de escenarios climáticos en Argentina — El primer estudio de caso presenta el desarrollo de escenarios climáticos en Argentina como fue documentado durante su Segunda Comunicación Nacional (SNC) ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). La SNC de Argentina constituye una de las 102 Comunicaciones Nacionales de los Países No Incluidos en el Anexo I que el PNUD ha apoyado activamente desde el año 1996. El enfoque de la porción relacionada con el clima de la evaluación es el de iniciar un amplio debate sobre el cambio climático para las regiones de Argentina.

Estudio de caso 2: Desarrollo de escenarios climáticos en Uruguay — El segundo estudio de caso presenta el desarrollo de escenarios climáticos a una escala espacial mucho más pequeña para un territorio Uruguayo. Este esfuerzo de reducción a escala apoyado por el PNUD pretende contribuir hacia los planes de inversión sobre el cambio climático para múltiples sectores, como parte de la estrategia baja en emisiones y adaptada al clima de la región.

Estudio de caso 3: Desarrollo de escenarios climáticos en África Meridional — El último estudio de caso representa un análisis regional para una porción de África Meridional. El desarrollo de escenarios climáticos está limitado a la reducción a escala de precipitación para inversiones agrícolas — una limitación influenciada por las necesidades de los usuarios finales.

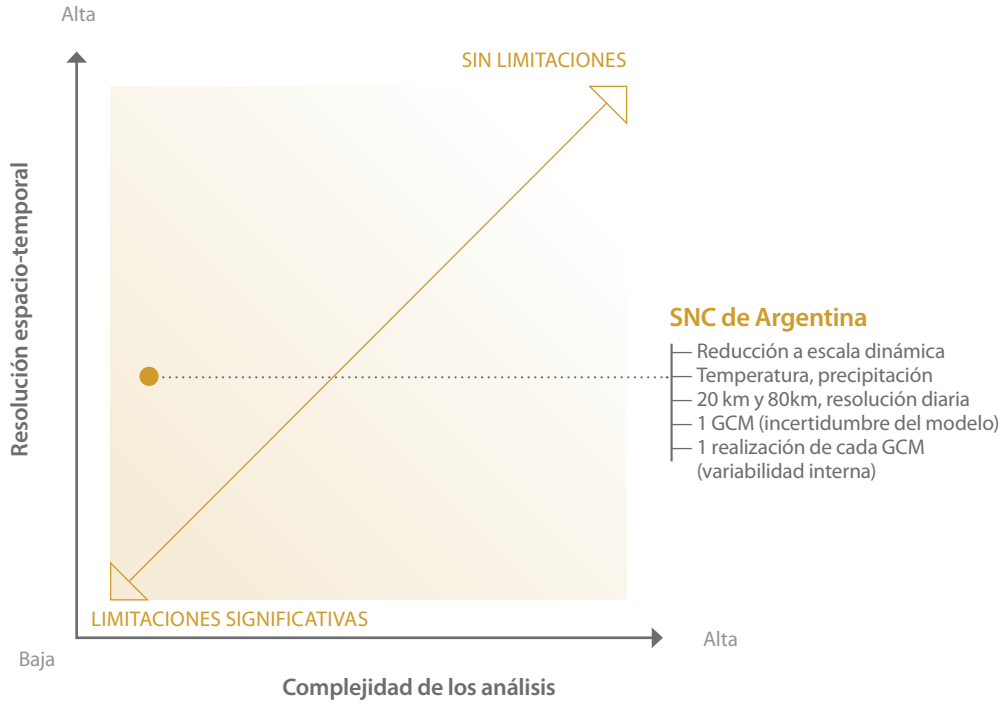
Los siguientes estudios de caso demuestran la diversidad de cuestiones involucradas en el desarrollo de escenarios climáticos. También deberán ofrecer una perspectiva al administrador de proyectos acerca de la relación existente entre las ambiciones de un estudio (es decir, lo que pretende lograr) y su nivel de desarrollo de escenarios climáticos. Esta perspectiva deberá asistirlos en sus esfuerzos para identificar los niveles apropiados de desarrollo de escenarios climáticos basados en las metas de su proyecto.

Estudio de caso 1

Reducción a Escala de Escenarios Climáticos Futuros de GCM: Segunda Comunicación Nacional de Argentina a la CMNUCC

Como parte de la SNC de Argentina, se publicó una evaluación apoyada por el PNUD (Argentina, 2007) que incluyó un análisis de la vulnerabilidad del cambio climático a escala nacional. Se evaluaron la climatología actual (conjuntamente con tendencias recientemente observadas) y futuros escenarios climáticos para todo el país, los cuales cubren un área de más de 2.700.000 km2. El propósito de este análisis fue el de iniciar un amplio diálogo acerca de la vulnerabilidad del cambio climático y de la planificación para las distintas regiones del país. En esta capacidad, la SNC ofreció un primer paso esencial hacia la promoción de un entendimiento sobre futuros escenarios climáticos en Argentina.

Figura A-1: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos en la SNC argentina en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal y limitaciones no científicas en del desarrollo de escenarios climáticos



En Argentina se siguió el procedimiento general para el desarrollo de escenarios climáticos (ver Capítulo 4). Para empezar, y a fin de establecer el clima de línea base de observación requerido, se recabaron y analizaron datos sobre las tendencias de precipitación del Siglo XX, precipitación extrema y temperatura. El informe identificó la importancia de El Niño – Oscilación del Sur (ENSO) con la variabilidad climática interanual para el país, y que el promedio anual de precipitación se incrementó a lo largo de la mayoría del territorio argentino, con la excepción de los Andes. La SNC notó además una tendencia hacia eventos más frecuentes y extremos de precipitación pluvial (definidos como mayores a 100 mm por evento, en donde el evento no dura más de 2 días). Estos hallazgos exitosamente ofrecieron al equipo de desarrollo de escenarios, un resumen amplio de la climatología argentina actual.

Los cambios observados en el clima del siglo XX (esto es, precipitación y temperatura) que resultaron del análisis susodicho, fueron utilizados para entender los recursos hídricos regionales en Argentina, incluyendo los cambios en caudal de las más grandes redes fluviales así como las implicaciones generales para toda la agricultura irrigada por medio de la lluvia. Por tanto, la ambición del desarrollo de escenarios climáticos fue entender los recursos hídricos regionales presentes en Argentina. Con la intención claramente identificada, el siguiente paso fue seleccionar el método apropiado de escenarios climáticos (Paso 2 de los procedimientos generales de desarrollo de escenarios climáticos).

Se determinó que se requería la reducción a escala de escenarios futuros basados en GCM ya que la baja resolución de los GCM fue considerada insuficiente para predecir la precipitación de forma precisa, en particular dentro de la cadena montañosa de los Andes. En consecuencia, el Centro de Investigación Marina y de la Atmósfera de Argentina (CIMA) llevó a cabo un análisis de reducción a escala para el país.

> **Modelo:** Un GCM único (el modelo global HadCM3 — desarrollado por el Centro Hadley en en Gran Bretaña) fue escogido para aplicar una resolución a escala dinámica. Este modelo fue seleccionado ya que análisis previos lo mostraron como relativamente capaz de representar el clima meridional de América del Sur (temperatura, nivel del mar, presión y precipitación).
>
> **Enfoque de Reducción a Escala:** La reducción a escala dinámica fue lograda mediante el uso del modelo muy conocido de mesoescala PSU/NCAR (conocido como MM5) a múltiples espacios de resolución. A pesar de que no está claro en relación con la SNC, la reducción a escala fue realizada por el CIMA a dos espacios de resolución, 20 km y 80 km para la parte meridional de América del Sur. Se debatieron cambios proyectados para dos períodos (2020–2030 y 2080–2090), y dos escenarios de emisiones (los escenarios IPCC SRES A2 y B1) fueron utilizados para este análisis. Los resultados provenientes de esta resolución a escala ofrecieron escenarios futuros en torno a temperatura y precipitación promedias (Paso 3 de los procedimientos generales de desarrollo de escenarios climáticos).

Resultados

Los escenarios climáticos resultantes de los procesos mencionados, y presentados en la SNC, ofrecieron aportes útiles a fin de informar a los responsables acerca de las vulnerabilidades importantes relacionadas con el clima para Argentina. Más adelante se presenta un resumen de algunos de los principales hallazgos del análisis climático de la SNC.

- Existirá un incremento en la temperatura promedio para todos los territorios Argentinos.
- Varias regiones de Argentina (Cordillera de los Andes, noroeste de la Patagonia y Comahue) experimentarán una reducción en la precipitación promedio, mientras que el resto del país no experimentará cambios en la precipitación promedio.
- La frecuencia de precipitación extrema continuará incrementándose en el futuro.

Análisis del estudio de caso de Argentina

La Figura A-1 ilustra cómo el administrador de proyectos podría evaluar la complejidad de análisis, la resolución espacio-temporal y las restricciones no científicas para este estudio de caso de Argentina. En primer lugar, el tamaño de la región (esto es, todo el territorio argentino) es relativamente grande y su geografía física cuenta con una heterogeneidad significativa. En cuanto se refiere a la complejidad de los análisis, se seleccionó una técnica dinámica de reducción a escala. Sin embargo, debido a que la reducción a escala dinámica requiere de ingentes cantidades de capacidad informática, los investigadores limitaron sus análisis a solamente un GCM (probablemente debido a restricciones de tiempo y de recursos financieros). Por tanto, la incertidumbre del modelo no fue evaluada como parte del proceso de reducción a escala. Luego de haber reconocido esta limitación, el informe no presenta los escenarios de temperatura y de precipitación (no reducidos a escala) provenientes de múltiples GCM basados en las simulaciones IPCC AR4. En cuanto se refiere a la incertidumbre de variabilidad interna, no está claro si se utilizaron múltiples realizaciones del modelo global HadCM3, aunque no se presentaron análisis que traten de la variabilidad climática interna. Se consideró la incertidumbre de emisiones al tomar en cuenta dos escenarios de emisiones, lo cual es consistente con nuestro marco propuesto en la Figura 1.

En general, se debe haber considerado la complejidad de los análisis como relativamente baja sobre la base de todos los componentes del desarrollo de escenarios climáticos. La resolución espacio-temporal podría considerarse a un nivel relativamente moderado. Estas designaciones son subjetivas y solamente se presentan en este estudio de caso para propósitos ilustrativos, para ayudar a que el administrador de proyectos y los expertos científicos utilicen esta herramienta para sus propios análisis.

En la SNC de Argentina, los escenarios climáticos son tratados dentro del contexto de múltiples cuestiones que incluyen: tensión por disponibilidad del agua en las partes central y septentrional de Argentina, olas de calor, cambios al caudal de la Cuenca del Río de la Plata, precipitación pluvial extrema e inundaciones, agricultura, salud (incluyendo la distribución geográfica de enfermedades tropicales causadas por vectores), energía y turismo. Cada una de estas cuestiones contará con distintos requerimientos de los escenarios climáticos en términos de su precisión y resolución. Por ejemplo, los análisis agrícolas argentinos serán muy sensibles en cuanto se refiere a predicciones precisas, diarias y extremas, de temperatura y precipitación (esto es, olas de frío y de calor, sequías e inundaciones).

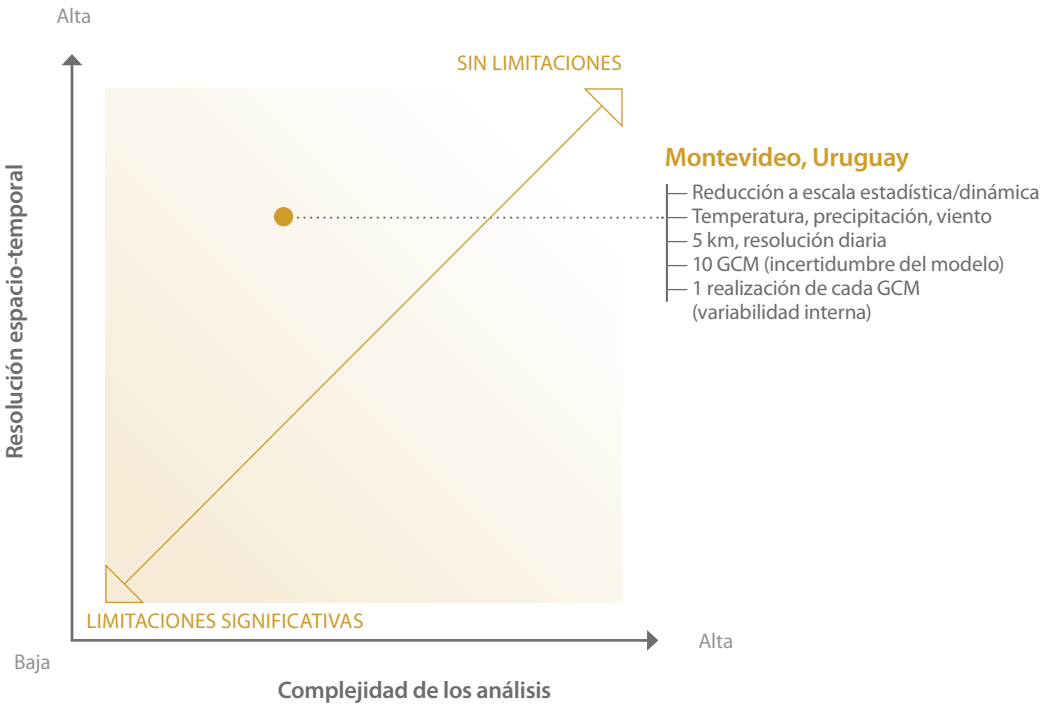
Estas conclusiones son instructivas ya que sirven como base para el diálogo sobre la vulnerabilidad, adaptación y mitigación del cambio climático. Los esfuerzos futuros sobre el desarrollo de escenarios climáticos en Argentina pueden beneficiarse de los debates ilustrados en esta guía. Conforme se muevan los esfuerzos hacia el uso de escenarios climáticos para la toma de decisiones de inversión, serán críticos los **rangos prospectivos de escenarios climáticos**.

Estudio de caso 2

Reducción a Escala en Uruguay: Combinando un enfoque del Modelo de Clima Regional con una Reducción a Escala Estadística para Apoyar a las LECRDs

La región metropolitana de Montevideo (9.900 km2), Uruguay, y los departamentos circundantes de San José y de Canelones sirvieron de puntos focales en un reciente proyecto piloto auspiciado por el PNUD para preparar a los escenarios climáticos futuros como parte de las LECRDs. Los análisis de resolución a escala para Montevideo/San José/Canelones fueron llevados a cabo por ClimSAT, un centro científico que apoya a los países en desarrollo en su preparación de las LECRDs, en colaboración con MétéoStrategy, Climpact e Ifremer. El objetivo fue proveer datos climáticos actuales y futuros de alta resolución espacial y temporal que podrían ser utilizados por varios sectores para la planificación local de vulnerabilidad y de mitigación. También se realizaron esfuerzos para llevar a cabo análisis de incertidumbre como un paso hacia el desarrollo de un rango prospectivo de escenarios climáticos.

Figura A-2: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos para las LECRDs de la región de Montevideo en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal y limitaciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos



El enfoque de reducción a escala involucró la combinación de un modelo de clima regional (reducción a escala) con la reducción a escala estadística.

> **Método:** Se utilizó un modelo de clima regional (reducción a escala dinámica) para producir una climatología de alta resolución (5-km) para la región.
>
> **Enfoque de reducción a escala:** Se utilizó un enfoque de reducción a escala estadística (Michelangeli et al., 2009) para producir escenarios climáticos para dos períodos futuros de tiempos por etapa y dos escenarios de emisiones de los SRES. Estas proyecciones climáticas fueron producidas utilizando un enfoque estadístico ya que la resolución a escala dinámica a una resolución de 5-km hubiese sido demasiada costosa y demorada.

Análisis del Estudio de Caso de Uruguay

La Figura A-2 ilustra cómo el administrador de proyectos podría caracterizar la complejidad del análisis, la resolución espacio-temporal y las restricciones no científicas para el estudio de Montevideo. El tamaño de la región es relativamente pequeño. En cuanto se refiere a su geografía física, la topografía es generalmente plana pero los vientos son altamente variables dependiendo de la distancia desde la costa. Se seleccionó una resolución alta (5 km) para el análisis, a fin de lidiar con esta variabilidad. De hecho, este caso representa un ejemplo interesante ya que se encuentran combinados dos enfoques de reducción a escala: reducción a escala dinámica para una climatología actual, y una reducción a escala estadística para el desarrollo de escenarios futuros.

En general, se podría considerar que la complejidad de los análisis es moderada sobre la base de todos los componentes del desarrollo de escenarios climáticos (descritos a continuación). Como en el anterior estudio de caso, esta designación sirve para propósitos ilustrativos a fin de ayudarles al administrador de proyectos y a los expertos científicos en la utilización de esta herramienta.

A fin de fijar el contexto de estos análisis para el administrador de proyectos y para los expertos científicos, a continuación resumimos el desarrollo de escenarios climáticos para Montevideo. Los conjuntos de datos de ClimSAT se encuentran descritos a continuación:

Climatología actual: Las observaciones de estaciones climáticas son limitadas en la región, de modo que se utilizó una aproximación de reducción a escala dinámica que fue utilizada para reducir la escala de reanálisis NCEP/NCAR/DOE (una reconstrucción mundial de modelo de las variables del clima; Kalnay et al., 1996; Kanamitsu et al., 2002). El Modelo de Investigación y Pronóstico del Clima (WRF) (Skamarock et al., 2008) fue utilizado para reducir la escala desde una resolución de cerca de 250 km × 250 km, a 5 km × 5 km para los años 1970 a 1999. Por tanto el resultado arrojado por el WRF contiene 30 variables climáticas (temperatura, precipitación, velocidad eólica, etc.) a una resolución espacial y temporal de 5 km × 5 km y de 3 horas, respectivamente. Es importante notar que, a pesar de que el administrador de proyectos podría considerar el uso de modelos tales como el WRF para generar la climatología actual, es crítico que la climatología actual esté basada en observaciones disponibles. En ausencia de observaciones de alta resolución, el administrador de proyectos debería considerar bajar la resolución y contar con análisis menos complejos.

Climatología futura: Se escogieron dos etapas de tiempo, 2046 a 2065, y 2081 a 2100. A lo largo de estos períodos, se utilizó un enfoque estadístico a fin de producir datos diarios de 5 km × 5 km a través de la reducción a escala de los resultados de temperatura y de precipitación provenientes de 12 modelos IPPC para dos escenarios SRES (B1 y A2).

Se escogió una resolución espacial alta (5 km) que requirió el uso de reducción a escala dinámica para producir una climatología actual de alta resolución. El administrador de proyectos deberá tener cuidado de los enfoques basados en modelos para la derivación de las climatologías actuales (en lugar de a través del uso de observaciones). Es decir que, un problema con la reducción a escala dinámica (con el WRF o modelos similares), es que se debe realizar un esfuerzo sustancial a fin de instaurar parámetros y para evaluar dicho modelo para una región dada y para una escala de análisis. Por ejemplo, el modelo WRF cuenta con varias opciones distintas disponibles con las cuales representar los procesos atmosféricos. Se debe tener cuidado ya que la decisión de qué representar y de cómo representarla variará dependiendo de las características de la región y de qué resolución es requerida como resultado (por ejemplo, 5 km contra 20 km). Estas decisiones podrían conllevar hacia diferencias significativas en los pronósticos de la climatología actual.

ClimSAT escogió la resolución de 5-km debido a que Montevideo/San José/Canelones representa una región costera para la cual podría ser importante contar con gradientes climáticas. Se realizaron análisis subsiguientes sobre el pronóstico de la climatología actual a fin de evaluar el valor de reducir la escala a 5 km en relación con una resolución más baja. Mediante el uso de resultados (intermedios) de 25-km, encontraron que los pronósticos con escala reducida de simulaciones de 5-km y de 25-km fueron muy similares estadísticamente, mientras que vieron diferencias significativas entre los muy bajos datos de reanálisis NCEP/NCAR/DOE y los resultados con escala reducida. Adicionalmente, una comparación con los datos de estaciones reveló que los pronósticos de 5-km y de 25-km fueron más consistentes que los datos de reanálisis NCEP/NCAR/DOE en comparación con las observaciones de las estaciones climáticas. Este resultado demuestra que los resultados de escenarios climáticos son mejorados reduciendo escalas, y además la alta resolución no necesariamente implica escenarios climáticos más precisos. Es decir, que reducir la escala a 5 km no es superior a la resolución a escala a 25-km, en este caso.

Sobre todo, los análisis de incertidumbre fueron llevados a cabo como parte del desarrollo de los escenarios climáticos de Montevideo. En relación con los principales tipos de incertidumbre, la incertidumbre de modelos fue considerada mediante la utilización de 12 modelos IPCC, mientras que la incertidumbre de emisiones fue considerada a través del uso de dos escenarios de los SRES. Al igual que con la SNC de Argentina, la incertidumbre de variabilidad interna no fue extensamente explorada. Adicionalmente, se utilizó solamente una técnica de reducción a escala para escenarios futuros. Idealmente, a pesar de que no se ha desarrollado en este caso debido a restricciones financieras y de tiempo, es beneficioso considerar múltiples aproximaciones de reducción a escala para de explorar a profundidad la incertidumbre de la reducción a escala, dado que métodos distintos a menudo conllevan a distintos pronósticos (por ejemplo, Wilby, 2008).

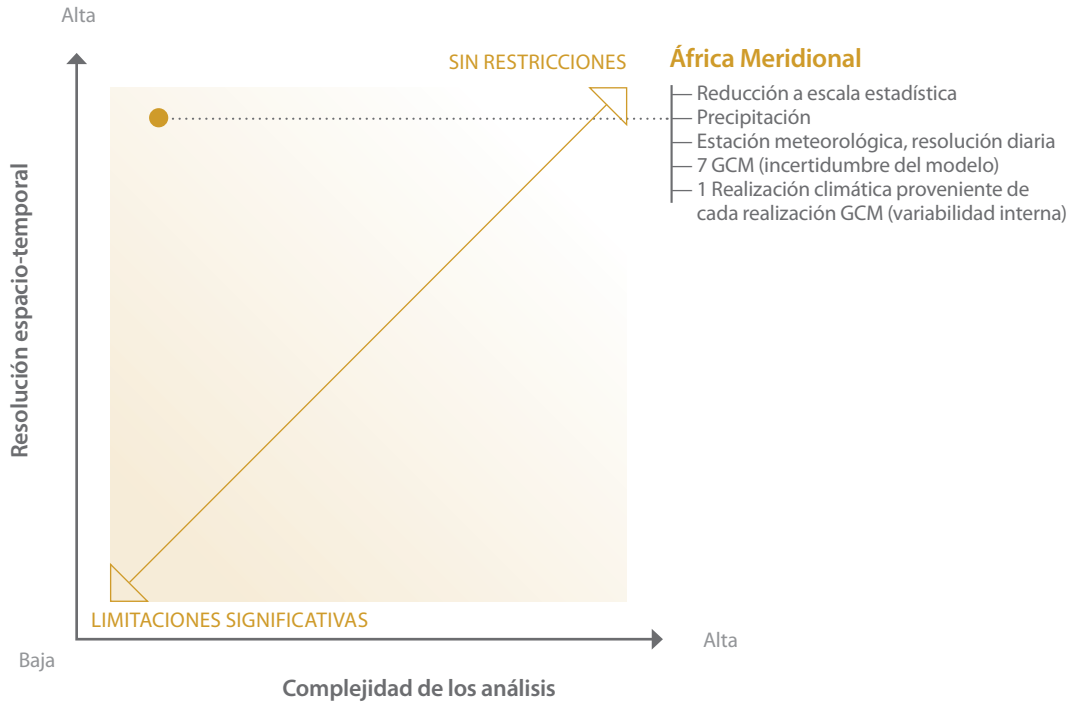
Un hallazgo preliminar importante proveniente de los análisis de incertidumbre realizados por ClimSAT (Lemarié y Honnorat, en preparación; Loukos et al., en preparación) es que los pronósticos de precipitación cuentan con una incertidumbre más alta en relación con los pronósticos de temperatura, resultados que se encuentran alineados con otros hallazgos en la literatura científica. Esta incertidumbre demuestra la necesidad de ofrecer un **rango prospectivo de pronósticos climáticos**, aun si el rango es grande. En el siguiente estudio de caso, nos enfocaremos en la reducción a escala de la precipitación dada su importancia en las LECRDs.

Estudio de caso 3

Reducción a escala en Precipitaciones para África Meridional: Evaluando Escenarios Futuros de Precipitación a través del Desarrollo Regional de Escenarios Climáticos

Conforme lo demostraron los análisis de reducción a escala de Uruguay, el desarrollo de escenarios climáticos regionales para pluviosidad (precipitación) es particularmente desafiante. Representa un problema y una cuestión significativa considerando que el pronóstico de precipitación es clave en la mayoría de evaluaciones de vulnerabilidad, adaptación y mitigación. A fin de ofrecer orientación acerca de esta cuestión, el siguiente estudio de caso se centra en el desarrollo de escenarios de precipitación para una porción de África meridional. El desafío de la reducción a escala de precipitación es particularmente desalentador en este estudio de caso debido a la baja densidad de observaciones y la alta dependencia en la agricultura rural (Tadross et al., 2009) en el área. Este caso debería servir como un excelente ejemplo para los países en desarrollo involucrados en la producción de LECRDs debido a la probabilidad de que éstos se enfrenten a cuestiones similares.

Figura A-3: Caracterización del desarrollo de escenarios climáticos para África Meridional en términos de complejidad de análisis, resolución espacio-temporal y restricciones no científicas en el desarrollo de escenarios climáticos



Este análisis regional se enfocó en una porción de África meridional que cubre un área de aproximadamente 2 millones de km2 (algo menos que el territorio de Argentina) e incluye a Malawi, Mozambique, Zambia y Zimbabue. Los análisis fueron ejecutados por Tadross et al. (2009) a fin de evaluar escenarios

futuros de precipitación para la región y cómo éstos podrían impactar los cambios futuros de precipitación en los cultivos de maíz. Sobre todo, la aplicación pretendida para los escenarios futuros de precipitación controla el enfoque de reducción a escala a un grado significativo. Esto es, los cambios potenciales de precipitación son importantes ya que se relacionan con el ciclo fenológico de los cultivos. Por tanto, se requiere de una resolución a escala diaria de precipitación – en lugar de mensualmente – ya que cambios de precipitación de varios días a un par de semanas puede tener efectos dramáticos en las decisiones de gestión agrícola y de producción.

La Figura A-3 ilustra cómo podría el administrador de proyectos caracterizar la complejidad de análisis, la resolución espacio-temporal y las restricciones no científicas para el estudio de África meridional. La heterogeneidad de esta región meridional de África es relativamente moderada, mientras que el tamaño de la región es de moderado a grande (en especial cuando se compara con la de Montevideo).

Enfoque de reducción a escala: Se utilizó un enfoque de escala estadística para los escenarios de precipitación en esta región de África meridional (ver Hewitson y Crane [2006] para más detalles acerca de esta aproximación).

Método: El método fue aplicado a períodos actuales y futuros (2046–2065) para pronósticos de precipitación provenientes de 7 GCM y de un escenario de emisiones. Por tanto, los pronósticos toman en cuenta la incertidumbre del modelo, aunque no las incertidumbres de emisiones, variabilidad climática y resolución a escala.

DEFINICIÓN

Diagrama de caja

Un diagrama de caja representa una forma útil de presentar grupos de datos de forma gráfica a través de sus resúmenes de cinco números: el mínimo de la muestra (observación más pequeña), cuartil inferior (Q1), mediana (Q2), cuartil superior (Q3) y el máximo de la muestra (observación más grande).

En general, la complejidad de los análisis puede ser considerada como baja debido a que la resolución a escala se realiza solamente para precipitación y solamente considera un escenario único de emisiones (Solamente para la precipitación, la complejidad del análisis podría ser considerada como relativamente alta). Como con los estudios de caso previos, esta designación sirve solamente para propósitos ilustrativos. La resolución relativa de este análisis (esto es, una escala diaria de tiempo conjuntamente con una escala espacial correspondiente a aquella de una estación meteorológica) es también aproximada cualitativamente como alta.

A fin de colocar este estudio en contexto para el administrador de proyectos y para los expertos científicos, algunos detalles principales son provistos a continuación. El rango prospectivo de los escenarios de precipitación (con las limitaciones previamente descritas) en este estudio fue presentado de forma útil. Se utilizaron diagramas de caja de la pluviosidad mensual total, número mensual de días de lluvia, extensión de tiempo máximo de sequía, e intensidad media de pluviosidad diaria (Figuras 11 y 12 en Tadross et al. [2009]) a fin de comunicar la pluviosidad prospectiva. Este tipo de información detallada es crítica para proyectos relacionados con inversiones, en donde las variables requeridas son determinadas por la aplicación objetiva.

Este estudio muestra además que a menudo es beneficioso coordinar los esfuerzos de resolución a escala con los estudios de vulnerabilidad. En esta evaluación, se acompañaron estudios actualizados conjuntamente con un análisis del vínculo entre los cambios observados en precipitaciones diarias y agricultura (incluyendo las decisiones de crecimiento de cultivos y de gestión de granjas). Este vínculo fue analizado a través del desarrollo de índices — basados en frecuencia e intensidad de la precipitación — que representan a las variables agrícolas, incluyendo las fechas de plantación, longitud de sequías, frecuencia de días secos, intensidad de la pluviosidad y precipitación total durante las etapas críticas del ciclo de crecimiento de cultivos. Además, estas variables fueron analizadas en términos de sus conexiones con las dinámicas climáticas a gran escala (El Niño-Oscilación del Sur y Oscilación Antártica) al analizar datos diarios observados referentes a precipitación. Estos análisis agrícolas involucraron análisis de datos climáticos actuales. Por tanto, si un administrador de proyectos puede determinar — antes del desarrollo de escenarios climáticos — que se requerirán de ciertas evaluaciones sectoriales, el administrador deberá comunicar esta necesidad a los expertos científicos a fin de posiblemente coordinar análisis concomitantes.

Referencias

Argentina. 2007. *Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.* Republic of Argentina. Disponible en línea en: http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/Segunda%20Comunicacion%20Nacional.pdf

Arnell, N., and N. Reynard. 1996. "The Effects of Climate Change Due to Global Warming on River Flows in Great Britain." *Journal of Hydrology 183* (3-4): 397-424. Disponible en línea en: http://www.sciencedirect.com/science

Arnell, N. 2003. "Relative Effects of Multi-Decadal Climatic Variability and Changes in the Mean and Variability of Climate Due to Global Warming: Future Streamflows in Britain." *Journal of Hydrology 270* (3-4): 195-213. Disponible en línea en: http://www.sciencedirect.com/science

Bader, D., et al. 2008. *Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations,* report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change, Research Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C., 123. Disponible en línea en: http://www.clivar.org/organization/wgcm/refer¬ences/sap3-climate-models.pdf

Carter, T. 2007. *General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment, Version 2, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment* (TGICA). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva. Disponible en línea en: http://www.ipcc-data.org/guidelines/TGICA_guidance_sdciaa_v2_final.pdf

Christensen, J., et al. 2007. *Regional Climate Projections, Climate Change, 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC,* University Press, Cambridge, UK. Disponible en línea en: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

Diaz-Nieto, J., and R. Wilby. 2005. "A Comparison of Reducción a escala estadística and Climate Change Factor Methods: Impacts on Low Flows in the River Thames, United Kingdom." *Climatic Change 69* (2): 245-268. Disponible en línea en: http://www.mendeley.com/research/a-comparison-of-statistical-downscaling-and-climate-change-factor-methods-impacts-on-low-flows-in-the-river-thames-united-kingdom/

Hawkins, E., and R. Sutton. 2009. "The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions." *Bulletin of the American Meteorological Society 90* (8): 1095-1107. Disponible en línea en: http://centaur.reading.ac.uk/1766/

Hay, L., et al. 2006. "One-Way Coupling Of an Atmospheric and a Hydrologic Model in Colorado." *Journal of Hydrometeorology 7* (4): 569-589. Disponible en línea en: http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/JHM512.1

Hewitson, B., and R.G. Crane. 2006. "Consensus Between GCM Climate Change Projections with Empirical Downscaling: Precipitation Downscaling over South Africa." *International Journal of Climatology 26* (10): 1315-1337. Disponible en línea en: http://geog.ucsb.edu/~joel/g280_s09/student_contrib/glenday/hewitson.pdf

Horton, R., et al. 2010. "New York City Panel on Climate Change 2010 Report, Capítulo 3: Climate Observations and Projections." *New York Academy of Sciences* 1196: 41–62. Disponible en línea en: http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2009.05314.x/full

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC,* Cambridge, U K and New York, USA: Cambridge University Press, 881. Disponible en línea en: http://www.csun.edu/~hmc60533/CSUN_630E_S2004/climate%20change/climate_change_2001_tech_resumen.pdf

Kalnay, E., et al. 1996. "The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project." *Bulletin of the American Meteorological Society 77* (3): 437-471. Disponible en línea en: http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477%281996%29077%3C0437%3ATNYRP%3E2.0.CO%3B2

Kanamitsu, M., et al. 2002. "NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2)." *Bulletin of the American Meteorological Society 83* (11): 1631-1643. Disponible en línea en: http://www.mendeley.com/research/ncepdoe-amipii-reanalysis-r2/

Khalil, A., et al. 2010. "Predictive Downscaling Based on Non-Homogeneous Hidden Markov Models." *Hydrological Sciences Journal 55* (3): 333-350. Disponible en línea en: http://www.informaworld.com/smpp/content~db=all~content=a921561994~frm=titlelink?words=khalil&hash=2771316581

Knutti, R., et al. 2010. *Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections.* Prepared for the Meeting Report of the IPCC Experts Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland. Disponible en línea en: http://www.ipcc.ch/pdf/supporting-material/experto -meeting-assessing-multi-model-projections-2010-01.pdf

Lemarié, F., and M. Honnorat. "The Coupled Multi-Scale Downscaling Climate System: a Decision-Making Tool for Developing Countries." Disponible en línea en: http://www.climsat.org/

Liang, X., et al. 2001. "Development of a Regional Climate Model for US Midwest Applications. Part I: Sensitivity to Buffer Zone Treatment." *Journal of Climate 14*: 4363-4378. Disponible en línea en: http://journals.ametsoc.org/toc/clim/14/23

Loukos, H., et al. "Uncertainty Evaluation in the UNDP/ClimSAT Territorial Climate Profiles." Disponible en línea en: http://www.climsat.org/

Lu, X. 2006. *Guidance on the Development of Regional Climate Scenarios for Application in Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessments* within the Framework of National Communications from parties not included in Annex I to the United Nations Framework Convention on Climate Change. New York: National Communications Support Programme, UNDP-UNEP-GEF, 42. Disponible en línea en: http://ncsp.undp.org/sites/default/files/NCSP_climate_scenarios_guidance_0.pdf

Lu, X. 2007. *Applying Climate Information for Adaptation Decision-Making: A Guidance Resource Document.* New York: National Communications Support Programme, UNDP-UNEP-GEF. Disponible en línea en: http://unfccc.int/files/adaptation/sbsta_agenda_item_adap¬tation/application/pdf/ncsp_guidance_adaptationdecision-making.pdf

McGuffie, K., and A. Henderson-Sellers. 2005. *A Climate Modelling Primer.* Wiley. Disponible en línea en: http://www.amazon.com/Climate-Modelling-Primer-Kendal-McGuffie/dp/047085751X

McMichael, A.J., et al., eds. 2003. *Climate Change and Human Health: Risks and Responses,* World Health Organization, Geneva. Disponible en línea en: http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf

Mearns, L., et al. 2003. *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments,* Published by the Data Distribution Centre of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en línea en: http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no1_v1_10-2003.pdf

Michelangeli, P., et al. 2009. "Probabilistic Downscaling Approaches: Application to Wind Cumulative Distribution Functions." *Geophysical Research Letters 36* (11): L11708. Disponible en línea en: http://www.agu.org/pubs/crossref/2009/2009GL038401.shtml

Mo, K., et al. 2005. "Impact of Model Resolution on the Prediction of Summer Precipitación over the United States and Mexico." *Journal of Climate 18:* 3910-3927. Disponible en línea en: http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI3513.1

Moss, R., et al. 2010. "The Next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment." *Nature 463* (7282): 747-756. Disponible en línea en: http://www.nature.com/nature/journal/v463/n7282/full/nature08823.html

Nakicenovic, N., et al. 2000. *Special Report on Emissions Scenarios,* a special report of Working Group III of the IPCC, Cambridge University Press, 599. Disponible en línea en: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/index.htm

Prudhomme, C., and H. Davies. 2009. "Assessing Uncertainties in Climate Change Impact Analyses on the River Flow Regimes in the UK. Part 2: Future Climate." *Climatic Change 93* (1): 197-222. Disponible en línea en: http://www.springerlink.com/content/k6687g65v363700n/

Quintana Seguí, P., et al. 2009. "Comparison of Three Downscaling Methods in Simulating the Impact of Climate Change on the Hydrology of Mediterranean Basins." *Journal of Hydrology 83* (1-2): 111-124. Disponible en línea en: http://pere.quintanasegui.com/coses/quintana-et-al_journal-of-hydrology_2009.pdf

Robertson, A., et al. 2004. "Downscaling of Daily Rainfall Occurrence over Northeast Brazil Using a Hidden Markov Model." *Journal of Climate 17* (22): 4407-4424. Disponible en línea en: http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JCLI-3216.1

Skamarock, W., et al. 2008. "A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (NCR technical note). Disponible en línea en: http://www.mmm.ucar.edu/wrf/usuarios/docs/arw_v3_bw.pdf

Tadross, M., et al. 2009. "Growing-Season Rainfall and Scenarios of Future Change in Southeast Africa: Implications for Cultivating Maize." *Climate Research 40:* 147-161. Disponible en línea en: http://www.int-res.com/abstracts/cr/v40/n2-3/p147-161/

UNDP (United Nations Development Programme). 2010. *Mapping Climate Change Vulnerability and Impact Scenarios: A Guidebook for Sub-National Planners*. New York: UNDP. Disponible en línea en: http://www.undp.org

Wilby, R., et al. 2004. *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Scale Reduction Methods,* prepared for consideration by the IPCC at the request of its Task Group on Data and Scenario Support for Impacts and Climate Analysis (TGICA). Disponible en línea en: http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf

Wilby, R., and I. Harris. 2006. "A Framework for Assessing Uncertainties in Climate Change Impacts: Low-Flow Scenarios for the River Thames, UK." *Hydric Resources Research 42* (2): W02419.

Wilby, R. 2008. "Dealing with Uncertainties of Future Climate: The Special Challenge of Semi-Arid Regions." Paper presented at Proceedings of the Water Tribune: Climate Change and Water Extremes, Expo Zaragoza, Espagne. Disponible en línea en: http://www.expozara¬goza2008.es/ContenidosAgenda/tda-st6-es-doc2.pdf

Ziervogel, G., and F. Zermoglio. 2009. "Climate Change Scenarios and the Development of Adaptation Strategies in Africa: Challenges and Opportunities." *Climate Research 40* (2-3): 133-146. Disponible en línea en: http://www.int-res.com/abstracts/cr/v40/n2-3/p133-146/

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Dirección de Políticas de Desarrollo
Grupo de Medio Ambiente y Energía
304 E. 45th Street
New York, NY 10017 USA

www.undp.org

abril 2011