

Globethics Repository



Cambio climático y agricultura [Climate change and agriculture]

This page was generated automatically upon download from the Globethics Repository.
More information on Globethics see <https://www.globethics.net>. Data and content policy
of Globethics Repository see <https://repository.globethics.net/pages/policy>.

Item Type	Article
Authors	Jayaraman, Thiagarajan;Murari, Kamal
Publisher	Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales
Rights	Creative Commons Copyright (CC 2.5)
Download date	2026-09-26 04:00:45
Link to Item	http://hdl.handle.net/20.500.12424/154413

Cambio climático y agricultura

Tendencias actuales y futuras e implicancias para la India

Thiagarajan Jayaraman
y Kamal Murari

Resumen

El artículo enfatiza la importancia de distinguir entre la actual variabilidad climática y los futuros cambios en el clima –debido al calentamiento global antropogénico– con respecto a la desviación y a la media de las variables climáticas, específicamente para comprender el impacto socioeconómico del cambio climático en la agricultura de la India. Utilizando datos del Proyecto de Relaciones Agrarias en India (PARI) sobre producción agrícola, rendimiento e ingresos a nivel local, plantea que entreverar la actual variabilidad climática y el futuro cambio climático oculta el hecho de que la desigualdad y la opresión son la clave que explica por qué los campesinos pobres y marginales sufren hoy el

Abstract

The paper emphasises the importance of distinguishing between current climate variability and future changes in climate —because of anthropogenic global warming— with respect to the mean and the variance of climate variables, especially in understanding the socio-economic impact of climate change on Indian agriculture. Using village-level data from the Project on Agrarian Relations in India (PARI) on agricultural production, yield and incomes, it argues that conflating current climate variability and future climate change obscures the fact that inequality and oppression are the key to why poor and marginal farmers suffer the impact of

CyE

Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

impacto de la variabilidad del clima. Por otra parte, comprender el impacto diferenciado de la variabilidad climática en este contexto, en categorías socioeconómicas como productores, zonas agroclimáticas y cosechas, puede aportar percepciones reveladoras sobre adaptación climática en un futuro de calentamiento global.

climate variability today. Besides, understanding the differentiated impact of climate variability across socio-economic categories of producers, agro-climatic zones, and crops in the current context can provide significant insights into climate adaptation in a future of global warming.

Thiagarajan Jayaraman

Decano, investigador y profesor del Centro de Estudios del Cambio Climático y la Sustentabilidad, Escuela de Estudios del Hábitat (TISS), Mumbai. Doctor en Física Teórica y Magister en Física por la Universidad de Madrás.

Dean, Researcher and Professor at the Centre for Climate Change and Sustainability Studies, School of Habitat Studies, Tata Institute of Social Sciences (TISS), Mumbai. PhD in Theoretical Physics and MSc. in Physics at University of Madras.

Kamal Murari

Investigador y profesor asociado del Centro de Estudios del Cambio Climático y la Sustentabilidad, Escuela de Estudios del Hábitat (TISS), Mumbai. Doctor en Ingeniería civil por el Instituto de Tecnología de la India, Bombay y por la Universidad Monash, Australia. Magister en Ingeniería de recursos hídricos por el Instituto de Tecnología de la India, Nueva Delhi.

Assistant Professor at the Centre for Climate Change and Sustainability Studies (TISS). PhD in Civil Engineering at the Indian Institute of Technology, Bombay and Monash University, Australia. M. Tech in Water Resources Engineering at Indian Institute of Technology, Delhi.

Palabras clave

1| Cambio climático 2| Variabilidad climática y desastres naturales 3| Modelos de predicciones climáticas regionales para la India 4| Impacto socioeconómico del cambio climático 5| Agricultura India 6| Campesinado

Keywords

1| *Climate Change* 2| *Climate Variability and Disasters* 3| *Regional Climate Model Predictions for India* 4| *Socio-Economic Impact of Climate Change* 5| *Indian Agriculture* 6| *Peasantry*

Cómo citar este artículo [Norma ISO 690]

JAYARAMAN, Thiagarajan y MURARI, Kamal Cambio climático y agricultura: tendencias actuales y futuras e implicancias para la India. *Crítica y Emancipación*, (12): 175-236, primer semestre de 2015.

Cambio climático y agricultura

Tendencias actuales y futuras e implicancias para la India* ** ***

Introducción

Este artículo abarca tres aspectos principales de la cuestión del cambio climático y la agricultura. En primer lugar, destaca algunos avances recientes cardinales en la ciencia del clima que tienen relevancia respecto al impacto del calentamiento global en la agricultura, en particular para la producción agrícola y su relación con las variables climáticas. En segundo lugar, describe brevemente la importancia para la producción agrícola de la variabilidad climática y la incidencia de condiciones climáticas extremas en el contexto de calentamiento global en aumento, tanto en el presente como en el futuro. En tercer lugar, considera algunas de las implicaciones de estas consecuencias para el estudio del impacto económico del cambio climático. De esta manera, también se centra en la necesidad de comprender el impacto diferencial del cambio climático en la agricultura, a través de las escalas espaciales y temporales, y de los diferentes estratos socioeconómicos de los productores. La identificación de las personas que sufren las consecuencias del cambio climático y la acción pública necesaria para proteger su bienestar es una cuestión normativa clave en la elaboración de una política climática, tanto a nivel nacional como mundial. El artículo analiza cuestiones relevantes para esa política, con particular referencia a la India; aunque sin hacer recomendaciones explícitas de políticas a implementar.

* Este trabajo fue presentado en el "Taller internacional de estudios comparados desigualdad y cambio climático: perspectivas desde el Sur", organizado por el Programa de Colaboración Sur-Sur, integrado por CLACSO, CODESRIA e IDEAS en Dakar, Senegal, en el año 2014.

** Una versión anterior de este artículo fue presentada en la Conferencia *On Agrarian Issues* en el X Aniversario de la Fundación de Estudios Agrarios, en Kochi, del 9 al 12 de enero de 2014. Los autores agradecen las sugerencias y comentarios de los participantes. Además, este artículo se basa en un estudio previo de T. Jayaraman, publicado en *Review of Agrarian Studies*, Vol. 1, Nº 2 (Ver: Jayaraman, 2011). Presentamos aquí la traducción de la última edición del artículo: 'Climate Change and Agriculture: Current and Future Trends, and Implications for India' en *Review of Agrarian Studies* (Bangalore) Vol. 4, Nº 1, 2014. Disponible en <http://www.ras.org.in/climate_change_and_agriculture_83>.

*** Traductora: Eugenia Cervio.

Los principales puntos que abarca el artículo son los siguientes. Primero, es casi seguro que los orígenes del fenómeno del calentamiento global actual hayan sido por la acción humana. Hay evidencias arrolladoras de que el calentamiento global tiene una serie de consecuencias que reflejan su origen antropogénico. Esto se desprende de la publicación de la primera parte del V Informe de Evaluación (*Fifth Assessment Report*, AR5) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que se ocupa de los aspectos de la ciencia física del cambio climático (IPCC, 2013).

Segundo, la investigación en el campo de las ciencias agra-

[...] al afirmar el derecho al desarrollo, la política climática de la India también debe reflejar la necesidad de un acuerdo climático global perentorio.

rias, así como el estudio del efecto de la variabilidad climática en la producción agrícola actual, señalan la importancia de los cambios en la intensidad, duración y frecuencia de los fenómenos climáticos extremos para la agricultura. De hecho, es probable que los cambios en los aspectos extremos climáticos sean tan importantes como el cambio gradual de los valores promedio de las variables del clima debido al calentamiento global. Por lo tanto, los primeros, junto a estos últimos, tal vez deberían ser considerados como parámetros independientes. También enfatizamos la importancia de estudiar el impacto de la variabilidad climática en el presente para comprender las consecuencias del cambio climático en el futuro.

Tercero, en relación con la India, señalamos la importancia de estudiar tanto la variabilidad climática actual como el cambio climático futuro a niveles locales, considerando las variaciones climáticas sustanciales a través del tiempo y del espacio. Mientras que la variabilidad de las precipitaciones es un factor importante que incide en las fluctuaciones de la producción agrícola a corto plazo, también expresamos la necesidad de alejarnos de este enfoque tradicional al tener en cuenta la variabilidad de la temperatura y las temperaturas extremas.

Nos basamos en algunos resultados de las encuestas rurales realizadas en el marco del Proyecto sobre las Relaciones Agrarias en

India (*Project on Agrarian Relations in India*, PARI) por la Fundación para los Estudios Agrarios (FAS, por sus siglas en inglés) y otra literatura existente, con el fin de discutir la necesidad de estudiar el impacto diferencial de las tensiones y *shocks* ambientales a través de los diferentes estratos socioeconómicos de la población rural. El artículo concluye con una breve discusión sobre la necesidad de que las políticas climáticas de la India reflejen una mayor conciencia de los esfuerzos y los costos requeridos para la adaptación al cambio climático, si se permite que el calentamiento global continúe desbordado.

Incluso al afirmar el derecho al desarrollo, la política climática de la India también debe reflejar la necesidad de un acuerdo climático global perentorio. Ese acuerdo es un aspecto fundamental para proteger a la gran cantidad de pobres rurales de la India de la carga adicional del calentamiento global.

Nuevos resultados del V Informe de Evaluación del IPCC

La primera parte del V Informe de Evaluación realizado por el Grupo de Trabajo I del IPCC proporciona las evaluaciones más recientes en el campo de la ciencia del clima de nuestro conocimiento del sistema climático de la tierra (IPCC, 2013). Es evidente que se están intensificando varias tendencias asociadas con el calentamiento global de origen antropogénico, y que las tasas específicas de su intensificación pueden estimarse cuantitativamente con niveles de confianza variables. Pese a que no hemos mencionado todos los detalles importantes de AR5 en este artículo, a continuación se listan algunos de los resultados más relevantes y extraordinarios.

Con referencia a las tendencias actuales en el cambio climático, los siguientes resultados son de interés. Las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero –dióxido de carbono y óxido nitroso– están actualmente en niveles que “exceden sustancialmente” los niveles más altos conocidos en la Tierra durante los últimos 800 mil años para estas concentraciones.

El calentamiento global de la tierra y del mar continúa en aumento, y los niveles de calentamiento han aumentando constantemente cada década. Cada una de las tres décadas pasadas ha sido más cálida que cualquier década anterior desde el año 1850. La temperatura media global aumentó 0,85 grados Celsius (° C) entre 1850 y 2012 (esta conclusión está basada en el análisis de múltiples fuentes independientes de datos). Mientras que el calentamiento global no es espacialmente uniforme en todo el mundo, casi no hay región en el planeta que no haya experimentado un incremento de la temperatura media.

Los datos sobre el aumento del nivel del mar muestran que el índice de aumento de la media global del nivel del mar ha aumentado, con un incremento de 3,2 mm por año en el período más reciente de 1993-2011, en comparación con 1,7 mm por año entre 1901 y 2011. Estos datos también indican, con un alto nivel de confianza, que el aumento del nivel del mar desde 1901 marca una clara transición de los índices de aumento de los dos milenios anteriores. Además, actualmente las observaciones sobre el aumento del nivel del mar resultan, cada vez más, conforme a lo esperado en los cálculos teóricos. Según estos cálculos, el aumento del nivel del mar se produce por diversas razones, incluyendo la expansión térmica de los océanos debido al calentamiento, el derretimiento de las capas de hielo polares y los glaciares y los cambios en las reservas de agua en la tierra.

Durante el período 2002-11, las emisiones anuales de dióxido de carbono provenientes de la combustión de combustibles fósiles y de la producción de cemento promediaron un 8,3 GtC¹, mientras que las emisiones debidas al cambio de uso de la tierra alcanzaron un promedio de 0,9 GtC. Sin embargo, las incertidumbres en la estimación de este último son mayores. La escala anual para este último se encuentra entre 0,1 y 1,7 Gt, mientras que para el primero el rango está entre 7,6 y 9 Gt anuales.

Es “muy probable” (para utilizar la clasificación del IPCC de los niveles de confianza en varias afirmaciones científicas en su informe²) que la actividad humana sobre la Tierra desde el año 1750 sea el origen de los cambios observados en las temperaturas medias globales. Otros cambios, como en la media global del nivel del mar, el derretimiento del hielo marino y en el ciclo hidrológico global, también son atribuibles a las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico.

La capacidad de los modelos climáticos para reproducir los cambios climáticos pasados, y que constituye una prueba importante de su validez y confiabilidad, ha mejorado de diferentes maneras. Las temperaturas medias globales son las que están representadas mejor, sobre todo en las escalas de tiempo a largo plazo, aunque están sujetas a mayores incertidumbres en escalas de tiempo de 15 a 20 años. Los pronósticos regionales obtenidos mediante modelos

|||||

1 GtC se refiere a gigatoneladas de carbono (refiriéndose sólo al contenido de carbono del dióxido de carbono), 1 gigatonelada equivale a mil millones de toneladas.

2 Ver IPCC (2013), para un listado de los términos utilizados para caracterizar el grado de incertidumbre o fiabilidad de varias conclusiones del informe.

climáticos muestran una gran mejora para representar los cambios de temperatura, pero estos pronósticos son más pobres en calidad que los globales. Los cambios en las precipitaciones, en general, están pobremente representados en comparación con los cambios de temperatura, especialmente a nivel regional.

Algunos de los resultados de AR5 relativos a los sucesos climáticos extremos y las capacidades actuales para modelar tales fenómenos, figuran a continuación.

Es “muy probable”, para usar nuevamente la terminología del IPCC, que los valores extremos de la temperatura diaria, tanto en términos de frecuencia como de intensidad, ocurran debido al calentamiento global antropogénico. En algunas regiones, parece que el calentamiento global ha más que duplicado la probabilidad de ocurrencia de olas de calor. Los días y las noches fríos han disminuido en número o se han vuelto más cálidos, como resultado del calentamiento global.

El calentamiento global también contribuye con el aumento de las lluvias extremas en términos de frecuencia, intensidad y cantidad de precipitación, aunque en este caso la relación no es tan certera como en el caso de la temperatura.

En contraste con los resultados mencionados anteriormente, la relación entre la frecuencia e intensidad de las sequías y el calentamiento global, todavía es ambigua. Del mismo modo, la relación entre la frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales y el calentamiento global, sigue siendo incierta. Sin embargo, hay evidencias confiables de que existe una relación entre la ocurrencia de los niveles del mar inusualmente altos y el calentamiento global.

Con un mayor aumento de la temperatura, está claro que es probable que aumente la frecuencia de algunos fenómenos climáticos extremos. El grado de aumento esperado es directamente proporcional a la magnitud de la relación que tienen actualmente esos fenómenos extremos con el calentamiento global. Por lo tanto, es probable que en el futuro haya olas de calor, lluvias torrenciales y subas anormales en el nivel del mar; mientras que no se espera que ocurran con tanta frecuencia los otros fenómenos climáticos extremos indicados anteriormente.

En términos generales, parece que el aumento de temperatura y la elevación del nivel del mar (y, de hecho, muchos otros efectos vinculados con el océano) están muy relacionados con el calentamiento global del origen antropogénico. Sin embargo, todavía hay incertidumbre en torno de varias de las características de los vientos y las precipitaciones (aquí cabe destacar que las cuestiones de las precipitaciones presentan mayores dificultades con respecto a la capacidad predictiva de los modelos climáticos que, por ejemplo, las temperaturas). Por lo

tanto, podemos concluir que las conexiones entre las precipitaciones y el calentamiento global deben esperar un avance científico adicional, y que la actual ausencia de pruebas con respecto a las conexiones definitivas en relación a los cambios en las precipitaciones (y los fenómenos climáticos extremos relacionados) puede modificarse en el futuro.

¿Cómo será el clima en el futuro con el calentamiento global continuo? El calentamiento global puede surgir debido a las emisiones de gases de efecto invernadero descontroladas o, incluso, como consecuencia de las emisiones limitadas que pueden estar permitidas en virtud de un acuerdo climático global. El último caso

En términos generales, parece que el aumento de temperatura y la elevación del nivel del mar (y, de hecho, muchos otros efectos vinculados con el océano) están muy relacionados con el calentamiento global del origen antropogénico.

dependería, por supuesto, de la naturaleza y el grado el alcance de la acción, según ese acuerdo. Predecir la naturaleza de un eventual acuerdo global sobre el cambio climático es difícil, dadas las dimensiones económicas, políticas y sociales del problema, y por tanto, la gran incertidumbre resultante en esa predicción.

Hace algunos años, el IPCC hizo un esfuerzo para desarrollar “escenarios” futuros en los que se trazaron distintas trayectorias de desarrollo económico y tecnológico mundial e intentó predecir el amplio espectro dentro del cual estarían las emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2000). Estos escenarios también podrían incorporar los efectos de un acuerdo climático global. Generalmente, los climas futuros y su impacto fueron estudiados por el IPCC según estos diferentes escenarios, como lo fueron las trayectorias de las emisiones de gases de efecto invernadero que predijeron. Otros estudios adoptaron una estrategia más obvia y sencilla mediante la definición de una trayectoria de crecimiento y una disminución subsecuente de las emisiones en términos puramente físicos, sin ninguna referencia explícita a una base socioeconómica para semejante trayectoria.

Las predicciones del IPCC del cambio climático futuro y sus efectos se basan en las trayectorias de las emisiones, que describen cómo estas aumentan y luego posiblemente disminuyan, de tal forma que, hacia

el final del siglo XXI, se traducen en un nivel específico del calentamiento global. Las trayectorias de emisión se denominan escenarios o Caminos de Concentración Representativa (*Representative Concentration Pathways*, RCP) y están rotulados por un número que se refiere al calentamiento global esperado (en términos de energía en vatios por metro cuadrado, no en términos de temperatura) para cada itinerario, para el año 2100. Todos los resultados en el AR5 del IPCC están basados en cuatro de esas trayectorias de referencia: RCP 2,6³; RCP 4,5; RCP 6,0 y RCP 8,5.

Es necesario subrayar dos conclusiones significativas del AR5, en cuanto a las consecuencias de cada uno de estos RCP. En primer lugar, el informe predice el rango de incremento de temperatura esperado para cada uno de los RCP en el año 2100. En segundo lugar, el informe estima las emisiones de dióxido de carbono acumuladas asociadas a cada RCP desde el año de referencia 2012 hasta 2100. En efecto, de esta forma el IPCC ha establecido un presupuesto de carbono global, es decir, el total de las emisiones de dióxido de carbono acumuladas que el mundo se puede permitir si el aumento de temperatura se mantiene dentro de un rango determinado. Resumimos esta información de AR5 en el Cuadro 1.

De manera equivalente, para diferentes cantidades de emisiones acumuladas de dióxido de carbono entre 2012 y 2100, podemos estimar la probabilidad de que el aumento de la temperatura máxima correspondiente se mantendrá por debajo de 2° C. A raíz de las negociaciones internacionales sobre el clima en Copenhague en 2009, y posteriormente en Cancún en 2010, todas las Naciones han acordado que 2° C es el límite máximo de aumento de la temperatura.

La presentación de estos resultados en esta forma en AR5 equivale a la aceptación del IPCC de la noción de un presupuesto global de carbono. Este presupuesto establece el quantum de gases de efecto invernadero que el planeta puede emitir en el futuro para mantener por debajo de cierto límite el aumento máximo de temperaturas. Este es un avance significativo para las negociaciones globales sobre el clima. Este presupuesto global de carbono (basado en las cifras de AR5 del IPCC) será la concesión global para las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de ahora, una concesión que debe ser compartida entre todos los países desde el presente hacia el futuro indefinido. El acuerdo sobre cómo la asignación y la distribución se lleve a cabo en la práctica será el verdadero reto para las negociaciones sobre el clima en los años venideros.

|||||

3 Por lo tanto, RCP 2,6 se refiere a un Camino de Concentración Representativa que conduce al calentamiento global de 2,6 vatios por metro cuadrado para el año 2100.

Para resumir, casi no caben dudas de que el calentamiento global de origen antropogénico está causando que aumenten las temperaturas medias globales y regionales, ocasionando el derretimiento de los glaciares y los casquetes polares, el aumento de los niveles de los mares y otros efectos que apuntan inequívocamente al papel de las emisiones de gases de efecto invernadero en el calentamiento global.

Cuadro 1. Aumento de la temperatura media global y probabilidad del aumento de la temperatura que excede los 2° C hacia el año 2100, para emisiones acumuladas específicas correspondientes a diferentes Caminos de Concentración Representativa (RCP)

Caminos de Con- centración Repre- sentativa (RCP)	Emisiones acumuladas en el período 2012-2100 (GtC)	Rango de aumento de la media global de la tempe- ratura de la superficie, 1850-2100 (° C)	Probabilidad de exceso 2° C	
RCP 2,6	270	0,9-2,3	Difícil que exceda 2° C (confianza media)	<33% pro- babilidad de exceso de 2° C
RCP 4,5	780	1,7-3,2	Posible que exceda 2° C (confianza alta)	>50% probabi- lidad de exceso de 2° C
RCP 6,0	1.060	2-3,7	Muy posible que exceda 2° C (confianza alta)	>66% probabi- lidad de exceso de 2° C
RCP 8,5	1.685	3,2-5,4	Muy posible que exceda 2° C (con- fianza alta)	>66% pro- babilidad de exceso de 2° C

Fuente: IPCC (2013).

Notas:

- (i) Los Caminos de Concentración Representativa (RCP) son trayectorias o escenarios de emisión que describen la merma o el incremento de las emisiones.
- (ii) El rango en la columna 3 se obtiene tomando la media $\pm 1.64\sigma$ de las predicciones para todos los modelos incluidos en el Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados versión 5 (*Coupled Model Intercomparison Project version 5*, CMIP5).
- (iii) Para el RCP 6,0 y el RCP 8,5 la probabilidad en la columna 5 no puede ser 100%, dado que hay modelos cuyas predicciones exceden el rango dado en la columna 3.

El impacto del calentamiento global en la agricultura

Como el AR5 del IPCC del Grupo de Trabajo II todavía no se ha publicado, es difícil proporcionar una visión global del impacto actual y futuro del cambio climático en la agricultura, y de los desarrollos de los diversos métodos y técnicas utilizadas para medir y analizar ese impacto. Sin embargo, hay tres desarrollos importantes que muy probablemente se publiquen en alguna edición mundial (ya han sido señalados en HLPE, 2012 y Schellnhuber *et al.*, 2013).

Reducción de incertidumbres subjetivas a la hora de cuantificar el impacto del cambio climático en la producción de cultivos

Las predicciones del impacto del cambio climático en la producción agrícola se hacen usando modelos de simulación del crecimiento de los cultivos. Se trata de modelos matemáticos complejos que tienen en cuenta una serie de factores para determinar cómo los cambios de las condiciones climáticas afectan crecimiento de los cultivos. En estos modelos, además de las variables climáticas, se tienen en cuenta otras variables que incluyen, obviamente, las condiciones del suelo, los efectos de las plagas y malezas, el manejo de los cultivos, etcétera. Hay muchos modelos de crecimiento de cultivos. Cuando se usan estos modelos para predecir el impacto del cambio climático en la agricultura, se integran con modelos climáticos que también pronostican los valores las variables climáticas en el futuro. Así, se pueden obtener resultados integrados a partir de modelos climáticos y modelos de crecimiento; aunque, por supuesto, al precio de la combinación de las incertidumbres de ambos.

Un esfuerzo de colaboración internacional importante, el Proyecto de Mejora e Inter-comparación del Modelo Agrícola (*Agricultural Model Inter-Comparison and Improvement Project*, AGMIP)⁴ ya está en marcha, para comparar e integrar los resultados a través de una variedad de modelos para los diferentes aspectos del impacto del cambio climático en la agricultura. Los datos de esta colaboración nos ayudan a evaluar resultados sólidos –en particular, las tendencias comunes de los distintos modelos– así como las incertidumbres, en el estado actual del conocimiento.

El AGMIP está basado en un modelo de colaboración previo, el Proyecto de Inter-comparación de Modelo Acoplado (*Coupled*

|||||

Model Inter-comparison Project, CMIP). El CMIP proporciona datos comparables e integrados de una variedad de modelos climáticos para predecir los efectos del clima. Específicamente, las variables climáticas futuras, como temperatura y precipitación, se dan en términos de la media de los valores estimados por diferentes modelos, junto con las variaciones correspondientes. Este estándar se denomina promedio modelo CMIP5 (CMIP5 es la versión actual de CMIP) para la variable del clima correspondiente.

Un conjunto significativo de los resultados del AGMIP es una extensión de las conclusiones del Grupo de Trabajo II del IV

Un resultado sorprendente de la investigación en ciencias agrarias es que la variabilidad del clima por sí sola, sin cambios en la temperatura media, puede provocar una disminución en el rendimiento de los cultivos que es comparable o superior a la disminución debido a un aumento de la temperatura media.

Informe de Evaluación (AR4) del IPCC con respecto a los efectos del cambio climático en la producción de algunos de los cultivos más importantes (Rosenzweig *et al.*, 2013). Estos resultados tienen en cuenta el aumento diferencial de las temperaturas medias que ocurrirá en latitudes altas y bajas. Estos resultados, en los que se incluyen el efecto de menor disponibilidad de nitrógeno, se resumen en el Gráfico 1.

El Gráfico 1 muestra que los cálculos más recientes, a partir de varios modelos climáticos y de crecimiento de cultivos, difieren significativamente de las predicciones de AR4 del IPCC cuando no se incluye el impacto del nitrógeno. Sin embargo, los resultados de AR4 se aproximan a los cálculos más recientes cuando se toma en cuenta el efecto de escasez de nitrógeno. En general, la progresión de las zonas grises en el Gráfico 1 indica las incertidumbres considerables en estos cálculos, incertidumbres que de hecho han aumentado en comparación con los resultados indicados en AR4. Rosenzweig *et al.* (2013) atribuyen esto a una mayor cobertura de las áreas de cultivos y al mayor número de modelos que se han tenido en cuenta.

El rol de la variabilidad del clima para determinar el impacto del cambio climático en la agricultura

Una de las consecuencias más importantes del calentamiento global, como ya se ha señalado, es el aumento de la variabilidad de la temperatura y las precipitaciones. El aumento de la variabilidad de los principales parámetros climáticos podría ser una consecuencia de un cambio en la media, o una consecuencia de un cambio en la distribución de los valores de estos parámetros sin un cambio en la media, o una combinación de ambos. Las tres situaciones posibles se ilustran, usando la temperatura como ejemplo, en el Gráfico 2.

Actualmente, hay cada vez más evidencias que la variabilidad del clima es tan importante para la producción agrícola como los valores de las variables climáticas durante la temporada de la cosecha. La evidencia proviene de investigaciones en ciencias agrarias, así como de análisis de datos de la producción agrícola.

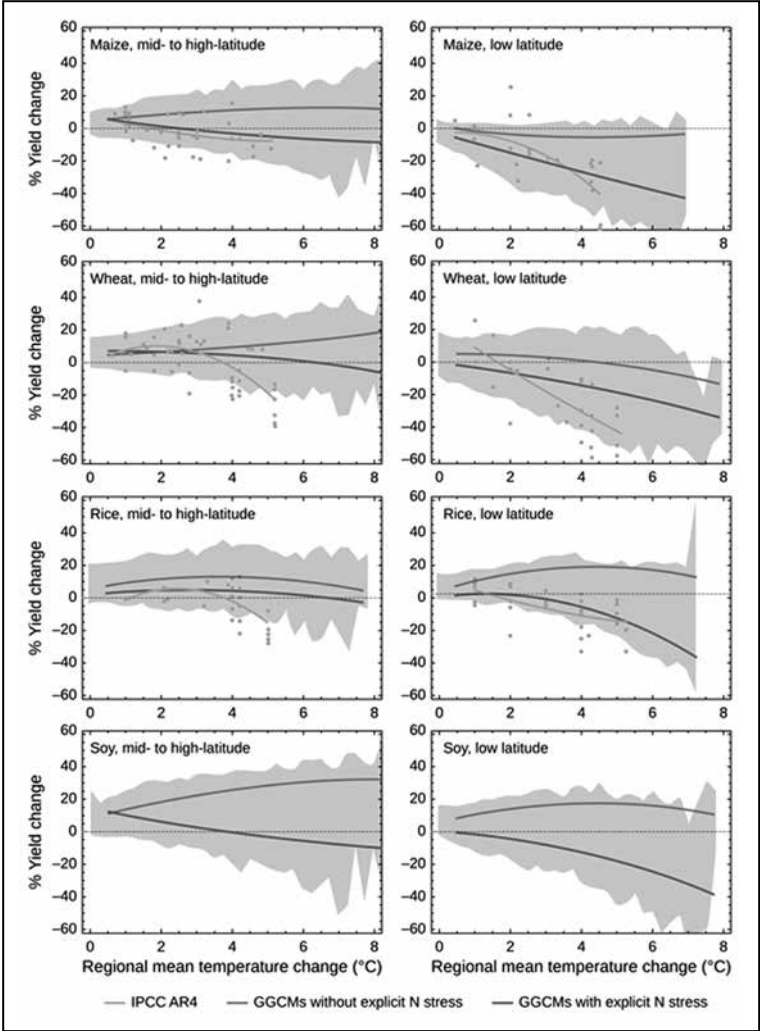
Un resultado sorprendente de la investigación en ciencias agrarias es que la variabilidad del clima por sí sola, sin cambios en la temperatura media, puede provocar una disminución en el rendimiento de los cultivos que es comparable o superior a la disminución debido a un aumento de la temperatura media. Este resultado, que es conocido por algunos expertos en modelos de cultivos, no es citado con frecuencia en la literatura sobre el clima y agricultura. Semenov y Porter (1995), utilizando un modelo de cultivo calibrado para el trigo en el Reino Unido, demostraron que una duplicación de la desviación estándar con la misma temperatura media daría la misma disminución en el rendimiento (7%) que un aumento de 2° C de la temperatura media. Estas conexiones parecen variar por región. El trigo francés mostró una disminución del 9% en el rendimiento para la duplicación de la desviación estándar, mientras que un aumento de 4° C de temperatura media mostró una disminución en el rendimiento de sólo 3%. Para el trigo en el Reino Unido, la combinación de un aumento de 2° C de la temperatura media junto con la duplicación de la desviación estándar de la temperatura causó que los rendimientos disminuyeran en un 19%.

En Singh y Singh (1995), se proporciona un informe útil del impacto de la variabilidad de la temperatura y las precipitaciones, y su impacto en el rendimiento agropecuario, relevante para las condiciones de la India.

La importancia de la variabilidad climática para la agricultura va más allá del aspecto meramente técnico de su impacto. Es bien sabido que los agricultores pequeños y marginales son particularmente vulnerables a las inclemencias y alarmas meteorológicas. El impacto de la variabilidad climática en la agricultura minifundista en el presente puede aportar ideas importantes sobre su vulnerabilidad al cambio climático futuro.

Gráfico 1. Sensibilidad del rendimiento de los cultivos al cambio de temperatura: maíz, trigo, arroz y soja, 1980-2010

CyE
Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014



Fuente: Rosenzweig et al. (2013).

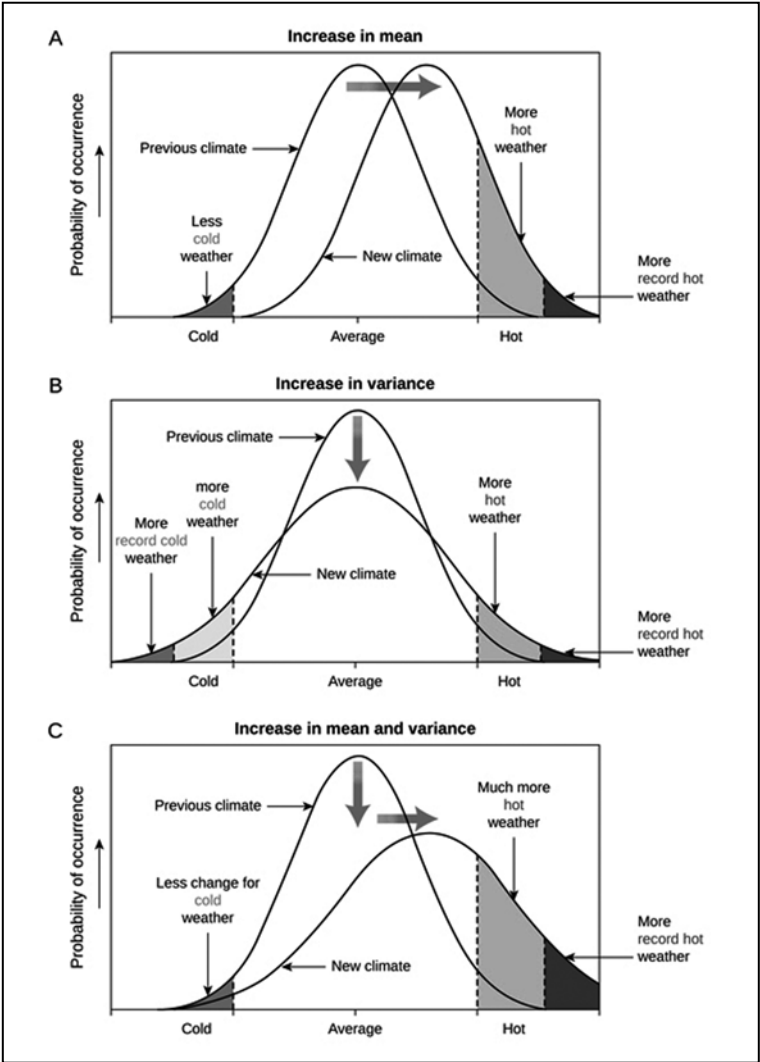
Notas:

- (i) Las cifras muestran el cambio relativo promedio en el rendimiento correspondiente al cambio de temperatura media local en las veinte regiones principales productoras de alimentos para cada cultivo y banda latitudinal.
- (ii) Las líneas verdes y rojas son las que se ajustan mejor a los datos derivados de modelos climáticos y de cultivo combinados. La línea verde es la que mejor se ajusta a los datos de los modelos que incluyen la aplicación de fertilizantes, y la línea roja es la que mejor se ajusta a los datos que no incluyen la aplicación de fertilizantes.
- (iii) Estos resultados son para un escenario de emisiones futuras correspondientes a RCP 8,5.

(iv) Los puntos de datos naranja indican valores promedios de AR4 del IPCC (Easterling et al., 2007), y las líneas anaranjadas son sus cuadrados correspondientes que se mejor ajustan. Estos datos son proporcionados para establecer comparaciones.

(v) Las líneas que mejor se ajustan no son utilizadas como una herramienta predictiva sino para resumir los resultados entre los estudios. El área sombreada gris indica la incertidumbre en un rango de nivel de confianza del 15-85% de todos los modelos considerados conjuntamente.

Gráfico 2. Cambios posibles en la media y transición de las variables climáticas (se utiliza la temperatura como ejemplo) a causa del calentamiento global, y sus consecuencias para el clima



Fuente: IPCC (2001).

Una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos, como sequías, inundaciones, ciclones, entre otros, también se espera que sea una característica del cambio climático futuro. Como en el caso de la variabilidad climática, la vulnerabilidad de la producción agrícola a las pérdidas y daños provocados por estos fenómenos extremos –tanto en términos de pérdida de producción en general, como en términos de pérdida de producción e ingresos para agricultores pequeños, marginales y medianos en particular– es un tema de especial preocupación. También en estos casos, cotejar el impacto de las inclemencias climáticas en el presente puede aportar ideas importantes sobre el futuro.

El impacto de la variabilidad climática en la agricultura minifundista en el presente puede aportar ideas importantes sobre su vulnerabilidad al cambio climático futuro.

Globalmente, para varios cultivos y en muchas regiones, hay una creciente exposición al sobrecalentamiento (*heat stress*), en términos del número de días durante la temporada de cultivo en los cuales los sembradíos están expuestos a temperaturas más allá de un umbral crítico. Mostramos los resultados de uno de estos estudios, de Gourdji *et al.* (2013), en los Cuadros 2 y 3. El Cuadro 2 muestra la tendencia del aumento de la exposición al sobrecalentamiento y el Cuadro 3 muestra el sobrecalentamiento esperado en el futuro basado en la extrapolación de las tendencias actuales.

Otro estudio (Teixeira *et al.*, 2013) muestra la extensión de tierras en todo el mundo que estarán expuestas al sobrecalentamiento en el futuro para uno de los escenarios del IPCC (el escenario A1B5)⁵, con niveles altos de calentamiento global (ver Gráfico 3).

5 El escenario A1B se refiere a un clima futuro en el que la concentración total de todos los gases de efecto invernadero en la atmósfera aumenta 720 partes por millón para el año 2100. En este escenario, hacia 2090, se espera que las temperaturas globales aumenten 2,8° C por encima del promedio de 1980-99. Para obtener más información, consulte: IPCC (2001), disponible en <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/029htm#storya1>>.

Tomados en conjunto, estos resultados indican que el sobrecalentamiento aun no es un problema inmediato para todos los cultivos. Sin embargo, el sobrecalentamiento está aumentando, tanto en intensidad como en duración, y en un futuro de calentamiento global pronunciado es probable que aumente para todos los cultivos.

Impacto en la producción agrícola de los cambios actuales en las temperaturas y precipitaciones medias

Hay más pruebas de los efectos del cambio climático en la producción agrícola actual. Sin embargo, no existe aún una actualización detallada del trabajo realizado por Hafner (2003), citado en AR4, sobre las tendencias generales en el incremento de los rendimientos de los principales cultivos en todo el mundo. En este trabajo, hemos realizado estimaciones aproximadas⁶ (a verificar en un análisis más detallado) que confirmarían las tendencias indicadas por Hafner (2003).

Cuadro 2.Tasa de cambio global de la temperatura media durante la temporada siembra y porcentaje de superficie cosechada global expuesta localmente a ese cambio y, tasa global de cambio en el número de días de exposición durante la temporada de siembra cuando las temperaturas están por encima de una determinada temperatura crítica (T_{crit}), y ponderación de la superficie cosechada global expuesta localmente a este incremento en la exposición, trigo, maíz, arroz y soja, 1980-2011

Temperatura media en época de siembra			Número de días de exposición sobre T_{crit} en época de siembra			
Cultivo	Tendencia para 1980-2011 (° C/ década)	% área con tendencia $\geq 0,1$ (° C/ década)	% área con tendencia $\leq -0,1$ (° C/ década)	Tendencia para 1980-2011 (días/ década)	% área con tendencia $\geq 0,1$ (días/ década)	% área con tendencia $\leq -0,1$ (días/ década)
Trigo	0,33	83	5	0,12	27	10
Maíz	0,21	68	3	0,14	32	25
Arroz	0,23	86	2	0,04	15	7
Soja	0,16	68	1	0,01	6	5

Fuente: Gourdj *et al.* (2013).
Nota: La tasa de cambio en la temperatura media y días reproductivos por encima de la temperatura crítica en la época de siembra o cultivos se calcula utilizando las temperaturas diarias para todas las ubicaciones cultivo, obtenidas por interpolación de los datos de la temperatura máxima



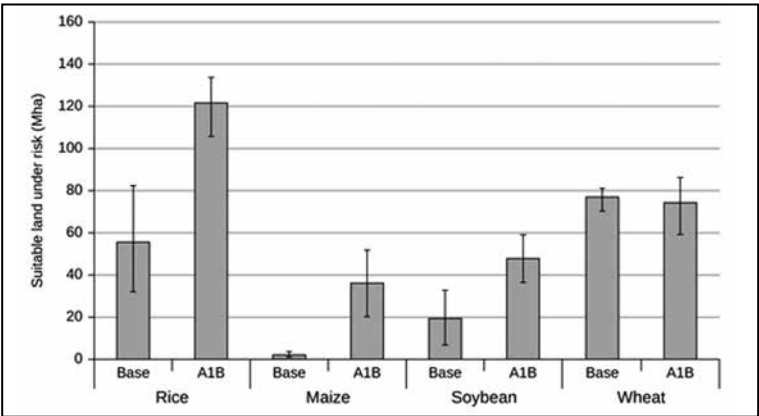
y mínima diaria de aproximadamente 40 mil estaciones meteorológicas. La tendencia mundial es dada por un promedio ponderado de las tendencias en todas estas estaciones. El área asociada con estos cambios se calcula teniendo en cuenta la superficie cosechada para cada cultivo dentro de un radio de 100 km de cada estación. Las temperaturas críticas para los cultivos seleccionados son 34° C para el trigo, 35° C para el maíz, 36° C para el arroz y 39° C para la soja.

Cuadro 3. Porcentaje del área de cosecha global probablemente expuesta a temperaturas superiores a las temperaturas críticas asociadas a las distintas duraciones de exposición, cultivos específicos: arroz, maíz, soja y trigo, 2000, 2030, 2050

Cultivo	1 día			5 días			10 días		
	2000	2030	2050	2000	2030	2050	2000	2030	2050
Trigo	19	32	41	5	11	18	2	4	8
Maíz	32	52	63	15	31	44	8	18	29
Arroz	14	28	44	8	16	27	5	10	18
Soja	4	11	20	0	3	8	0	1	3

Fuente: Gourdj *et al.* (2013).
Nota: Las columnas 2000, 2030 y 2050 hacen referencia al periodo de 20 años comprendido entre esas fechas y las áreas expuestas a temperaturas superiores a T_{crit} son los promedios anuales para esos periodos. Estas predicciones son un promedio de las realizadas por todos los modelos incluidos en el CMIP5.

Gráfico 3. Grado de exposición de la superficie mundial al riesgo de sobrecalentamiento para cultivos específicos: arroz, maíz, soja y trigo



Fuente: Teixeira *et al.* (2013).
Notas:
(i) El riesgo de sobrecalentamiento se produce cuando un cultivo está expuesto a temperaturas diurnas por encima de sus niveles críticos por uno o más días durante su fase reproductiva. Las

temperaturas críticas relevantes para arroz, maíz, soja y trigo son 35° C, 35° C, 35° C y 27° C, respectivamente.

(ii) El gráfico muestra la superficie mundial sembrada, para los cultivos especificados, que estuvo expuesta al riesgo de sobrecalentamiento en el período 1971-2000 (denominado Base) y lo compara con el riesgo de sobrecalentamiento previsto para el período 2071-2100 en el escenario A1B. El escenario A1B refiere a un clima futuro en el que la concentración total de todos los gases de efecto invernadero en la atmósfera aumenta 720 partes por millón en 2100, y en el que se espera que las temperaturas globales en la década de 2090 estén a 2,8 ° C por encima de los niveles de 1980-99.

(iii) Los resultados para el escenario A1B proceden de un análisis a nivel mundial utilizando temperaturas diarias mínimas y máximas obtenidas de los Modelos de Circulación General (*General Circulation Models*, GCM).

(iv) La altura de la columna indica que el valor de la mediana, y la línea en la parte superior de la columna muestra la variación de los percentiles 25 al 75 para un período de análisis de 30 años.

Estas estimaciones muestran que la tasa global del aumento del rinde supera los 33 kg/ha/año, que es la cifra necesaria para mantener la disponibilidad de alimentos per cápita mundial actual para una población de 9 mil millones en el año 2050. También hay evidencia de que hay una continua capacidad para incrementar los rendimientos, como lo demuestra el estudio detallado sobre el maíz de Gustafson *et al.* (2013). Uno de los interrogantes planteados en Jayaraman (2011), escrito después de la publicación de AR4, era si el aumento necesario del rendimiento agrario sería sostenible si se lograba por la intensificación del uso de los métodos de cultivo existentes. Si bien todavía no hay una respuesta directa a esta pregunta, Gustafson *et al.* (2013) sugieren que la agricultura técnicamente más avanzada en los países desarrollados tiene mayor eco-eficiencia que la agricultura de baja productividad en los países en vías de desarrollo. Sostienen que para bajos niveles de intensificación agraria (medidos en términos de uso de la tierra, agua y energía), el impacto ambiental de la agricultura es bajo. Este efecto aumenta significativamente para los niveles medios de intensificación y disminuye otra vez para la agricultura altamente intensificada. La métrica de eco-eficiencia, sin embargo, no utiliza los indicadores que están relacionados con otros aspectos de la sostenibilidad, como el nitrógeno activo que se libera en el medio ambiente (y en cuerpos de agua en particular) o el impacto de la intensificación en la salud del suelo.

Estos resultados no excluyen la posibilidad de que el cambio climático esté teniendo, en efecto, un efecto negativo que sin embargo es compensado por otros factores, como una mejor gestión o tecnología optimizada. En definitiva, este último aseguraría que sigan aumentando la producción y el rendimiento. Que de hecho, actualmente, este sea el caso resulta evidente en la obra de Lobell *et al.* (2011), que analiza el impacto de los cambios de la temperatura y las precipitaciones en

la producción de los cuatro cultivos principales en todo el mundo. El estudio muestra una imagen mixta (aunque, en su mayor parte, negativa) del impacto del cambio climático en la producción agrícola. Definitivamente, es la temperatura, en general, la que parece tener un impacto más significativo en la producción de cultivos, ya sea positivo o negativo, en comparación con las precipitaciones. El estudio también compara convenientemente los efectos negativos relativos del aumento de la temperatura con los efectos positivos del aumento de los rendimientos agrícolas debido a otros factores. A continuación, el Gráfico 4 muestra el impacto de la temperatura y las precipitaciones en los rendi-

Una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos, como sequías, inundaciones, ciclones, entre otros, también se espera que sea una característica del cambio climático futuro.

mientos de los cuatro cultivos principales, a escala mundial y en cinco países ubicados en diferentes regiones.

Cambio climático y agricultura: el contexto de la India

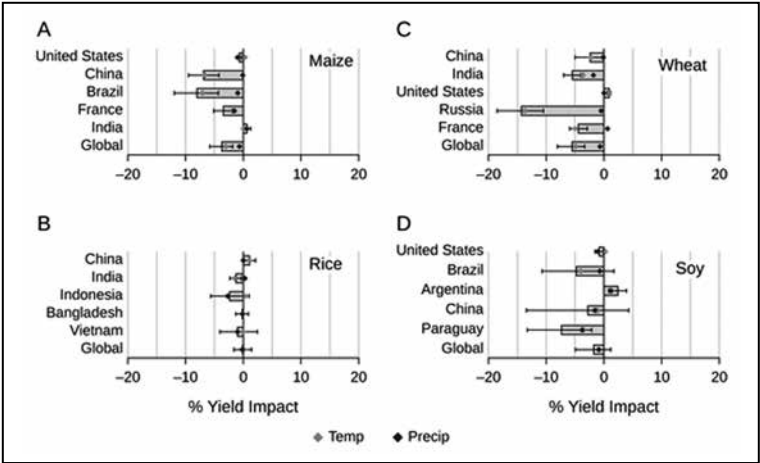
Temperatura y precipitación: tendencias actuales y futuras

Ahora pasamos a las consideraciones específicas para la India con respecto al cambio climático y la agricultura. Comenzamos con una breve revisión de las tendencias en las variables climáticas para la India, incluyendo los cambios de temperatura y el estado actual y futuro de las lluvias, especialmente con referencia al monzón.

Nuestros cálculos, a partir de los datos del Departamento Meteorológico de la India (*Indian Meteorological Department, IMD*), muestran un aumento general entre 0,6° C y 0,8° C de las temperaturas medias anuales para la India durante el período 1850-2010. Existen claras evidencias del incremento de la tasa de aumento para el período más reciente. El Gráfico 5 muestra la desviación de la temperatura media anual del promedio de 30 años para la misma variable en el período 1960-99.

Las tendencias de la temperatura también muestran un claro aumento, según lo informado por la India en su Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Natcom II, 2012). Según esta comunicación, las temperaturas medias anuales en toda la India aumentaron un 0,56° C, durante un período de 100 años que culminó en 2007. Las temperaturas medias de invierno aumentaron 0,7° C durante el mismo período. Sin embargo, la tasa de aumento fue mayor en los últimos años –a razón de 0,2° C cada 10 años de 1971 a 2007– con un aumento más agudo en las temperaturas mínimas que en las temperaturas máximas. El incremento de la temperatura máxima para toda la India fue de 1,02° C en los últimos 100 años, mientras el aumento de la temperatura mínima fue de sólo 0,12° C para el mismo período. No obstante, durante 1971-2007 la temperatura mínima se elevó en 0,2° C cada 10 años, más rápido que la temperatura máxima.

Gráfico 4 . Efecto de los cambios de temperatura y precipitaciones debidos al calentamiento global en el rendimiento de los cuatro cultivos más importantes, mundial y por países, 1980-2008



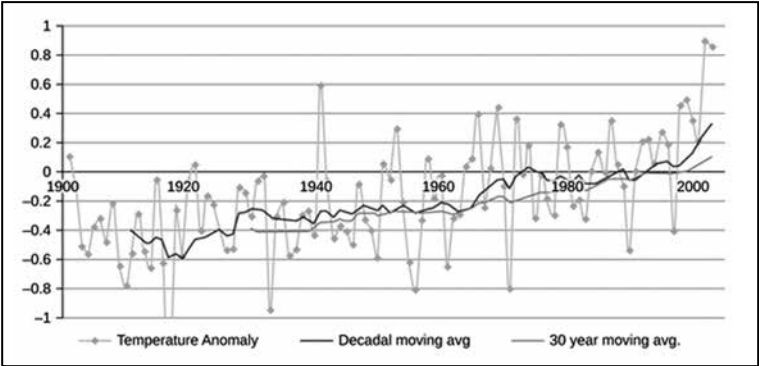
Fuente: Lobell *et al.* (2011).

Notas:

(i) Las barras grises muestran la mediana del impacto neto en el rendimiento de los cultivos debido al efecto combinado de los cambios en las temperaturas y las precipitaciones durante el período 1980-2008, expresado como un porcentaje del rendimiento medio para el mismo período. Las barras de error muestran el intervalo de confianza de 5% y 95% para la mediana estimada de un remuestreo *bootstrap* de los datos históricos. Los puntos rojos y los puntos azules denotan la disminución de la mediana en la producción (como porcentaje de del rendimiento medio), únicamente para los efectos de la temperatura y las precipitaciones.

(ii) Hay que destacar que el impacto sobre el rendimiento se refiere sólo a los efectos de los cambios de la temperatura y las precipitaciones, y no a otros cambios en los rendimientos reales.

Gráfico 5. Cambios en las temperaturas medias, India, 1900-2009



Fuente: <<http://www.tropmet.res.in/>>.

Notas:

- (i) Las variaciones de temperaturas se expresan en términos de la anomalía dada por la diferencia entre la temperatura media anual y el promedio a largo plazo de la temperatura media anual para el período 1960-1999. Los valores medios móviles también se trazan en términos de anomalía similar con respecto al mismo período.
- (ii) El aumento de los valores medios móviles por década y para 30 años indican el aumento de temperaturas medias anuales entre 1900 y 2009.

Los cambios de temperatura también variaron entre las diferentes regiones de la India. El Gráfico 6 muestra la variación regional de las tendencias de las temperaturas.

Cuadro 4. Aumento esperado en las temperaturas medias anuales y la precipitación anual para escenarios de emisiones correspondientes a diferentes Caminos de Concentración Representativa (RCP), India, 1961-90 y 2071-2100

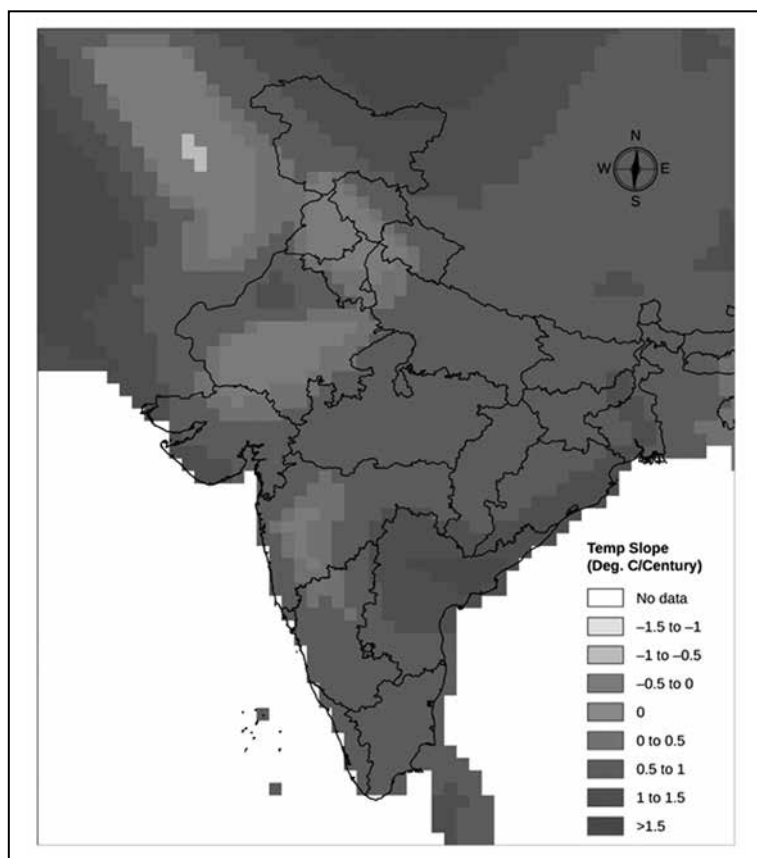
	RCP 2,6	RCP 4,5	RCP 6,0	RCP 8,5
Temperatura (°C)	1,5	2,4	2,8	4,3
Precipitación (%)	6	10	9	14

Fuente: Chaturvedi *et al.* (2012).

Nota:

Estas predicciones se obtuvieron promediando los valores correspondientes de todos los modelos incluidos en el CMIP5. Las variaciones entre los modelos son bastante bajas para el caso de las predicciones de temperatura y se reproducen las observaciones del pasado con una fidelidad razonable (Chaturvedi *et al.*, 2012).

Gráfico 6. Variabilidad espacial de la tasa de cambio de las temperaturas medias anuales, India



Fuente: <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>>.

Notas:

- (i) La tasa de cambio en la temperatura media anual se expresa en grados centígrados por siglo. Las tendencias se calculan usando la media mensual de $0,5^\circ$ (que denota el tamaño de la cuadrícula espacial en latitud y longitud) del set de datos de temperatura de la Unidad de Investigación Climática (*Climate Research Unit*, CRU, Universidad de Anglia Oriental) y abarca el período 1901-2012.
- (ii) Todos los valores de tendencia están en el nivel de significación del 95%. Los valores de tendencia, para las ubicaciones que no muestran una tendencia en el nivel de significación del 95%, se calibraron en cero.

¿Cuáles serán las tendencias futuras de la temperatura en el subcontinente de la India? La respuesta a esta pregunta se deriva de dos tipos de modelos. Los primeros son modelos climáticos globales, que se ocupan de la atmósfera los océanos y la tierra en su conjunto. Estos modelos proporcionan información climática para determinadas regiones, pero la información es tosca y puede pasar por alto características locales

significativas. El segundo tipo son modelos regionales dinámicos (*dynamically downscaled models*) y están diseñados para proporcionar información sobre el clima a escala regional, con aportes de los modelos globales. Se espera que estos modelos proporcionen detalles más finos que el primer tipo. Grupos de investigación científica de todo el mundo han construido estos dos tipos de modelos. Como hemos señalado anteriormente, los resultados de estos se comparan y se comparten en iniciativas de colaboración internacional. Para los modelos climáticos globales, la versión actual de la iniciativa de colaboración es CMIP5. Para los modelos regionales dinámicos, que proporcionan prediccio-

Definitivamente, es la temperatura, en general, la que parece tener un impacto más significativo en la producción de cultivos, ya sea positivo o negativo, en comparación con las precipitaciones.

nes regionales sobre el clima, la iniciativa de colaboración actual es el Experimento de Regionalización Coordinado (*Coordinated Regional Downscaling Experiment*, CORDEX).

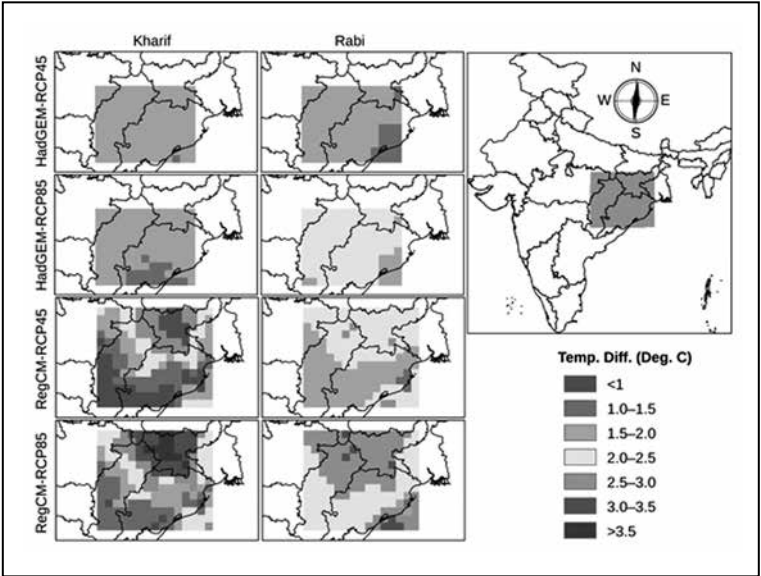
Las tendencias de las temperaturas para el futuro están disponibles en CMIP5 y CORDEX. A partir de los modelos climáticos globales (Chaturvedi *et al.*, 2012), el aumento pronosticado para la temperatura media en la década de 2080 en todo el subcontinente de la India para diferentes RCP será como se expresa en el Cuadro 4. Nótese que estos aumentos son en relación a la media de 1961-90.

Estos aumentos no son uniformes, varían regionalmente. Entre los diferentes escenarios (dados por diferentes RCP), en el corto plazo –es decir, hasta los años 2030– no hay mucha variación. Pero a partir de los años 2060, la variación aumenta para RCP crecientes. Esto indica que las variaciones regionales en el aumento de la temperatura se incrementan con aumento el global de la temperatura⁷. Sin embargo, la expectativa de que los resultados de CORDEX proporcionarían sólidas proyecciones de aumento de la temperatu-

⁷ La elección de esta región se debe a la conveniencia y está basada en el trabajo previo de uno de los autores (Kamal Murari) en esta región.

ra en el futuro a escala regional todavía se tiene que materializar en la práctica. Ilustramos aquí el problema utilizando proyecciones de temperaturas para la Cuenca del río Mahanadi usando dos de esos modelos. Abajo, en el Gráfico 7, señalamos el aumento de temperaturas esperado según las proyecciones de ambos modelos para dos RCP distintos. El gráfico muestra una variación considerable en las proyecciones de aumento de temperatura a escala regional. La gran variación en los resultados indica que los “modelos dinámicos *downscaled*” para proyecciones de temperatura a escalas regionales necesitan una mejora considerable.

Gráfico 7. Proyecciones del aumento de temperaturas medias estacionales de dos modelos climáticos regionales para las temporadas kharif y rabi, Cuenca del río Mahanadi, India, 1981-2000 a 2031-2050



Fuente: datos de CORDEX, disponibles en <<https://cordex-ea.climate.go.kr/main/searchPageCdx.do>>.

Notas:

- (i) Las cifras muestran la diferencia en los promedios de la temperatura media estacional para el período 2031-2050 para los dos escenarios de emisiones: RCP 4,5 y RCP 8,5.
- (ii) RegCM y HadGEM son los dos modelos climáticos regionales utilizados aquí, y los resultados para los dos RCP de cada modelo se diferencian por la etiqueta RCP asociada.

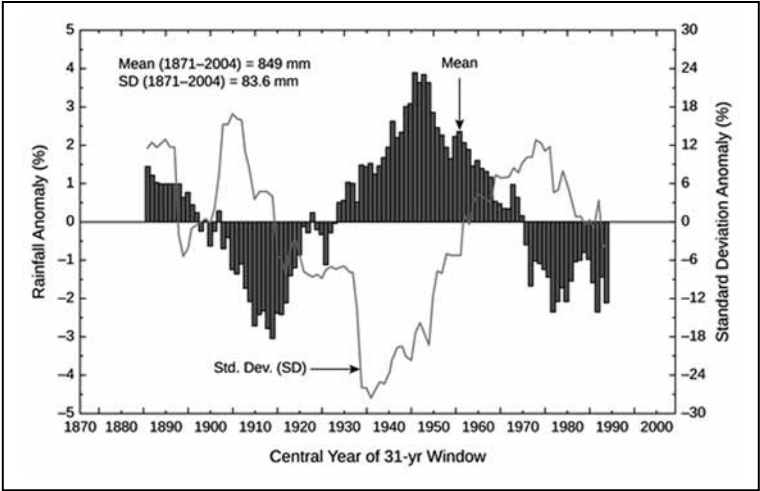
Existen incertidumbres considerables en los resultados de la ciencia climática para la precipitación, en términos de impacto actual

y futuro del cambio climático en el monzón. Como es bien sabido, el monzón es un fenómeno complejo con variaciones considerables en tiempo y espacio (variabilidad intra-estacional; variabilidad interanual y extensión de la variabilidad entre décadas). Puesto que no es posible abarcar todo esto en el espacio de una breve reseña, solamente destacamos muy pocas características en este artículo; para una revisión exhaustiva de algunas de las características básicas del monzón, recomendamos al lector la consulta de Gadgil (2003).

Modelar el comportamiento del monzón secular es una ardua tarea, incluso si no tenemos en cuenta el cambio climático. No todos los factores causales implicados en la determinación de las características del monzón se comprenden cabalmente, y el tema sigue siendo un campo de estudio para las investigaciones en curso. Hay dos métodos básicos para modelar el comportamiento del monzón. Un método es trabajar con modelos que predicen el comportamiento del monzón, a partir de los primeros principios de comportamiento atmosférico. Esta clase de modelos, que son tan necesarios, requieren un mayor desarrollo antes de ser plenamente utilizables (Gadgil y Srinivasan, 2012). El segundo método consiste en usar modelos que extrapolan el comportamiento pasado del monzón al futuro. Estos modelos, por el contrario, han registrado mejoras.

¿El calentamiento global actual ha implicado cambios importantes en el comportamiento del monzón? La respuesta a esta pregunta tan básica no es enteramente clara. El monzón tiene un marcado ciclo de 70 años e incluye períodos de precipitaciones anuales por encima, así como por debajo, de la media de largo plazo. Curiosamente, la variabilidad del monzón es más baja en la primera fase. Esto es evidente en el Gráfico 8, a continuación (trazado a partir de Gadgil y Kumar, 2006). El gráfico muestra la diferencia entre un valor promedio móvil de 31 años y el promedio a largo plazo para la precipitación anual media del monzón para el período 1871-2004. También muestra la diferencia entre la desviación estándar asociada al promedio móvil de 31 años y a la desviación estándar de la media de largo plazo. Una de las consecuencias de este hallazgo es que cualquier análisis de los cambios en el comportamiento del monzón debido al calentamiento global debe tener en cuenta este ciclo.

Gráfico 8. Anomalías en la desviación estándar y en la media de las precipitaciones monzónicas estivales anuales, India, 1870-2004



Fuente: Gadgil y Kumar (2006).

Notas:

- (i) La ventana de 31 años se refiere a un valor promedio móvil de 31 años. La anomalía se refiere a la diferencia entre el promedio móvil de 31 años y la media a largo plazo de las lluvias monzónicas estivales anuales, para el período 1871-2004.
- (ii) Una anomalía similar se trazó para la desviación estándar del valor promedio móvil de 31 años para la precipitación monzónica estival anual con respecto a la desviación estándar asociada con las precipitaciones para el período 1871-2004.

Una manera de probar si el comportamiento del monzón ha cambiado en el largo plazo es comparar la distribución de probabilidad de diferentes cantidades de precipitación anual de un período de 50 años de hace 150 años, con una distribución de probabilidad similar para un período de 50 años más reciente. Además, este tipo de pruebas se pueden hacer para el comportamiento del monzón en regiones particulares. Esto se muestra a continuación, en el Gráfico 9, basado en datos de IMD para el período 1871-2012. El gráfico muestra que la variación de las precipitaciones para toda la India no es estadísticamente significativa. Pero las variaciones en el patrón de lluvias en las regiones de Chhattisgarh, Konkan y Goa son significativas. Los datos indican que la disminución de las precipitaciones de la temporada monzónica en Chhattisgarh, y el incremento de las precipitaciones en las subdivisiones de Goa y Konkan, son estadísticamente significativas (El análisis estadístico requerido para obtener estos resultados no se divulga en este artículo).

El Cuadro 5 muestra que entre todas las subdivisiones meteorológicas en el país, muy pocas reportan algún cambio estadísticamente significativo en las precipitaciones durante el período 1871-2012 (en un nivel de confianza de 95%). Por supuesto, se necesita un mayor análisis para poder asegurar que los cambios reportados son atribuibles al calentamiento global.

La revisión de Turner y Annamalai (2012) proporciona un cuadro general de los problemas al evaluar los cambios en comportamiento del monzón debido a las condiciones climáticas actuales así como las incertidumbres asociadas a la predicción del comportamiento

[...] las temperaturas medias anuales en toda la India aumentaron un 0,56° C, durante un período de 100 años que culminó en 2007

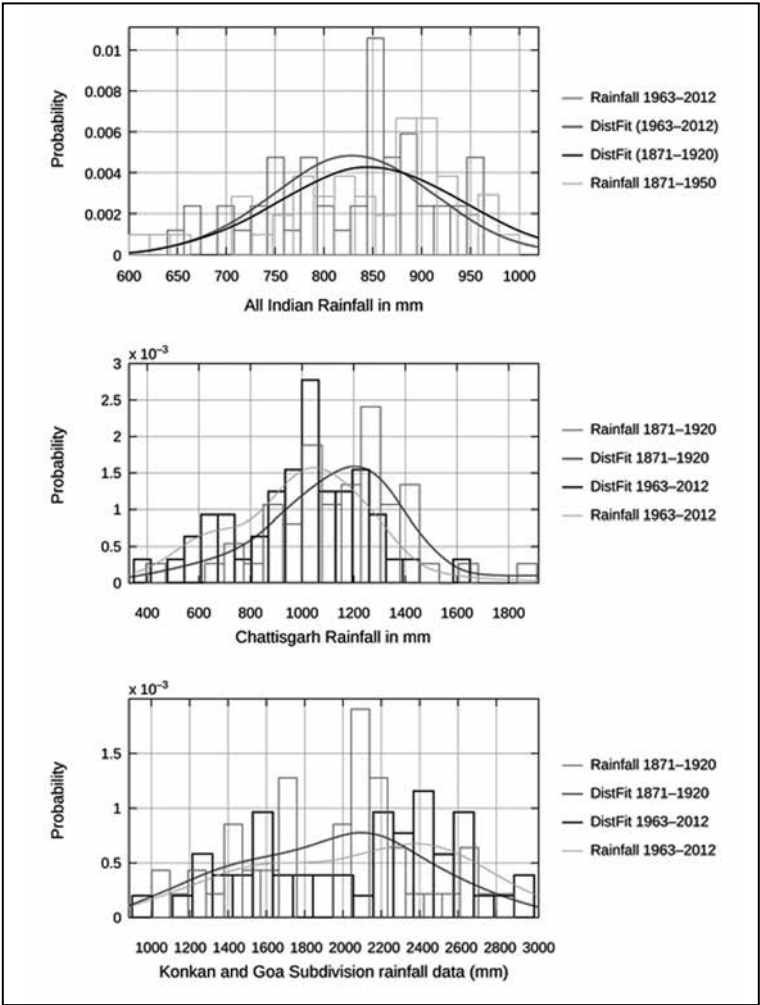
to futuro del monzón. Con respecto a lo anterior, concluyen que no hay una clara evidencia de que el calentamiento global haya tenido un impacto perceptible en el comportamiento del monzón.

Los modelos climáticos globales no funcionan muy bien cuando se ponen a prueba en la reproducción de observaciones de las estimaciones de las precipitaciones pasadas (Menon *et al.*, 2013). En el Gráfico 10 está claro que cuando fue probado cotejando observaciones pasadas, la mayoría de las predicciones individuales modelo de valores promedio de la precipitación media monzónica difirieron significativamente de los valores observados. Sin embargo, se puede afirmar que el valor “promedio ensamble” de precipitación de la temporada monzónica, obtenida al promediar los valores medios de todos los modelos individuales, está más cerca del valor observado. Pero todavía hay divergencias significativas entre el promedio ensamble y las observaciones que dificultan el uso del anterior para predicciones definidas cuantitativamente para el futuro (Chaturvedi *et al.*, 2012).

Las tendencias generales, sin embargo, son evidentes. En general, las simulaciones indican una probabilidad de mayores precipitaciones en distintos escenarios futuros de cambio climático. Además, todos los modelos predicen generalmente una mayor variabilidad de las precipitaciones en el futuro. Murari *et al.* (2013) han sugerido que

puede ser mejor tener un promedio ponderado (denominado “súper promedio ensamble”) en lugar de un promedio simple (promedio ensamble) de los resultados de diferentes modelos climáticos para las predicciones de las lluvias. En este promedio ponderado, los modelos individuales que simulan los valores medios de la precipitación de la temporada monzónica más cerca de los valores observados (en años anteriores) reciben proporcionalmente mayor consideración.

Gráfico 9. Cambios en el comportamiento la precipitación del monzón utilizando modelos de distribución de las precipitaciones en India y en dos subdivisiones de Departamento Meteorológico la India (IMD), 1871-1920 y 1963-2012



Notas:

- (i) Se muestra la distribución de las precipitaciones durante dos periodos de 50 años: 1871-1920 y 1963-2012.
- (ii) El histograma de las precipitaciones para el período 1871-1920 está marcado en azul y, para el período 1963-2012, en rojo. Las líneas azules y rojas son los ajustes de la distribución de los histogramas de las precipitaciones para los dos periodos.
- (iii) Las precipitaciones en toda la India no muestran ningún cambio significativo en la distribución de las lluvias. La distribución de las precipitaciones para las subdivisiones de Chattisgarh; Konkan y Goa muestra un cambio significativo entre los dos periodos. El significado se infiere mediante la prueba de doble faz de Kolmogorov-Smirnov.

Cuadro 5. Tasa de variación en la precipitación monzónica estival total (junio-septiembre) para todas las subdivisiones del IMD, 1871-2012

Subdivisiones	Tendencia (mm/década)	Relevancia estadística
India	-1.984	No Significativo
Assam y Meghalaya	-9.446	Significativo
Nagaland y Mizoram	-13.258	Significativo
Bengala Occidental Sub-Himalayo	-3.006	No Significativo
Bengala Occidental Delta del Ganges	5.793	No Significativo
Orissa	-1.309	No Significativo
Jharkhand	-2.254	No Significativo
Bihar	-4.471	No Significativo
Uttar Pradesh Oriental	-2.986	No Significativo
Uttar Pradesh Llanura Occidental	-2.955	No Significativo
Haryana	2.481	No Significativo
Punjab	5.016	No Significativo
Rajasthan Occidental	1.015	No Significativo
Rajasthan Oriental	-3.044	No Significativo
Madhya Pradesh Occidental	-3.264	No Significativo
Madhya Pradesh Oriental	-9.710	Significativo
Gujarat	-1.975	No Significativo

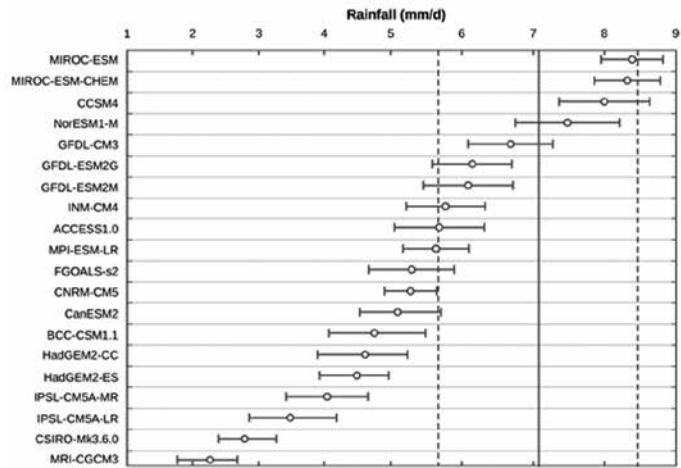
Subdivisiones	Tendencia (mm/ década)	Relevancia estadística
Saurashtra y Kutch	3.244	No Significativo
Konkan y Goa	14.642	Significativo
Madhya Maharashtra	0.382	No Significativo
Marathwada	-2.403	No Significativo
Vidarbha	-5.127	No Significativo
Chhattisgarh	-13.916	Significativo
Costa de Andhra	3.253	No Significativo
Telangana	1.560	No Significativo
Rayalseema	2.634	No Significativo
Tamil Nadu	0.146	No Significativo
Costa de Karnataka	17.804	Significativo
Karnataka Norte	2.727	No Significativo
Karnataka Interior Sur	2.405	No Significativo
Kerala	-1.999	No Significativo

Fuente: datos de IMD, disponibles en <http://www.tropmet.res.in/static_page.php?page_id=53>.
Nota:

El significado estadístico es determinado por la prueba *t student* asociada a la estimación de la tendencia para cada subdivisión.

Murari *et al.* consideran que el método promedio ponderado es un camino mejor para representar el comportamiento observado de los monzones del verano indio, no sólo en la reproducción de la media y la varianza, sino además en el patrón de estacionalidad en los datos. En el Gráfico 12, en el gráfico en la parte superior, las estimaciones del promedio ensamble y el súper promedio ensamble para la distribución de probabilidad anual observada para las lluvias monzónicas estivales de toda la India son comparadas con las observaciones. En el siguiente gráfico, las estimaciones del promedio ensamble y el súper ensamble para la distribución estacional de las precipitaciones son comparadas con las observaciones. En ambos casos, los resultados del súper ensamble están más cerca de las observaciones.

Gráfico 10. Comparación de las predicciones de los modelos CMIP5 con los valores observados de la precipitación monzónica estival media diaria, India, 1871-2004

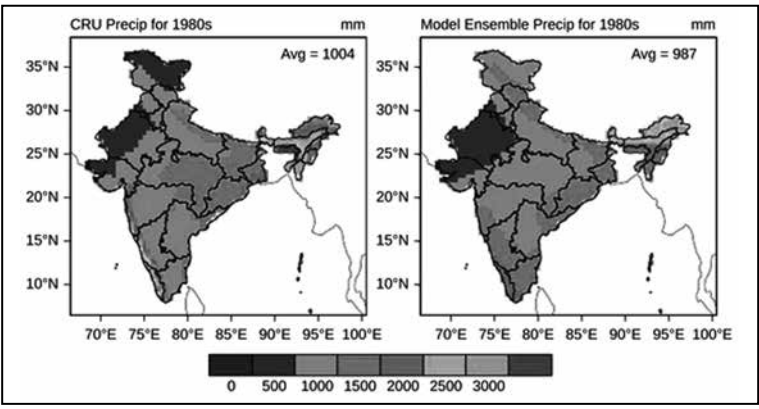


Fuente: Menon *et al.* (2013).

Nota:

- (i) El eje vertical izquierdo muestra los nombres abreviados de los modelos climáticos utilizados en el estudio. Menon *et al.* (2013) proporcionan más detalles de estos modelos. La línea vertical negra es la precipitación monzónica media observada durante el período de referencia y las líneas punteadas verticales denotan dos (+ o -) desviaciones estándares de la media. Para cada modelo, el círculo es la precipitación monzónica media calculada para el mismo período y la barra de error indica una (+ o -) desviación estándar para cada modelo.
- (ii) CMIP5 = Modelo de Inter-Comparación Acoplado versión 5.

Gráfico 11. Comparación de los datos de observación con el promedio de las predicciones de todos los modelos CMIP5 para la precipitación media anual, India



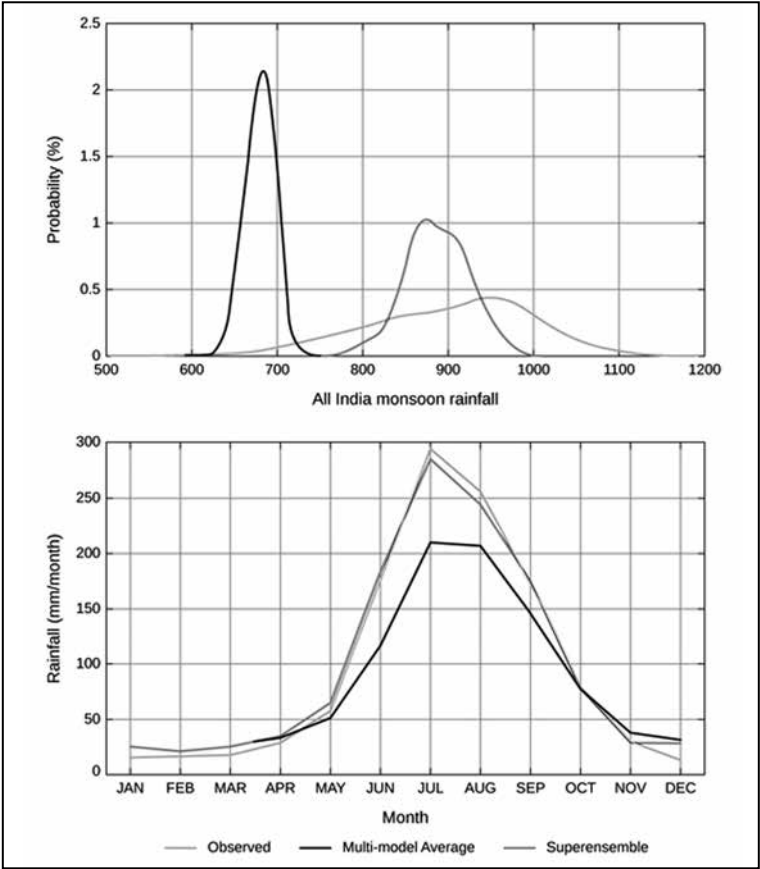
Fuente: Chaturvedi *et al.* (2012).

Nota:

CMIP5 = Modelo de Inter-Comparación Acoplado versión 5.

THIAGARAJAN JAYARAMAN Y KAMAL MURARI

Gráfico 12. Comparación de las predicciones de ensamble (promedio normal) y súper ensamble (promedio ponderado) del multi-modelo CMIP5 con datos observados para la distribución de las precipitaciones monzónicas estivales, India



Fuente: Murari *et al.* (2013).

Notas:

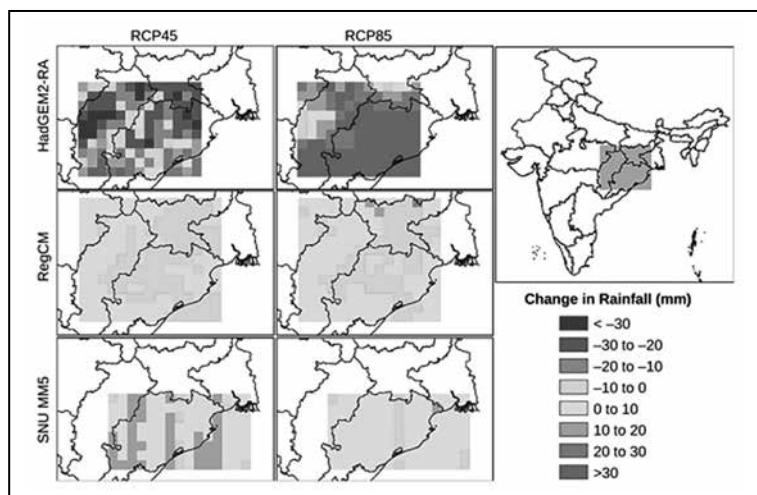
(i) El gráfico en la parte superior muestra la distribución de las precipitaciones monzónicas estivales anuales, para el período 1871-2005, según las observaciones y predicciones en los dos métodos. El gráfico debajo compara las predicciones de los dos métodos para la distribución inter-estacional de las precipitaciones (promediadas durante todo el período) a los valores observados.

(ii) El promedio aquí se refiere al promedio de las predicciones de 10 modelos incluidos en CMIP5, el promedio ponderado define en base a las predicciones del mismo conjunto de 10 modelos, donde las ponderaciones más altas se asignan a los valores de los modelos cuyas predicciones coinciden más estrechamente con las observaciones anteriores.

(iii) Los gráficos indican que el método del promedio ponderado es un camino mejor para combinar resultados del modelo climático para reducir la incertidumbre en las proyecciones.

(iv) CMIP5 = Modelo de Inter-Comparación Acoplado versión 5.

Gráfico 13. Predicciones del cambio en las precipitaciones monzónicas estivales anuales (junio-septiembre), Cuenca del río Mahanadi, India, 1981-2000 a 2031-2050



Fuente: datos de CORDEX, disponibles en <<https://cordex-ea.climate.go.kr/main/searchPageCdx.do>>.

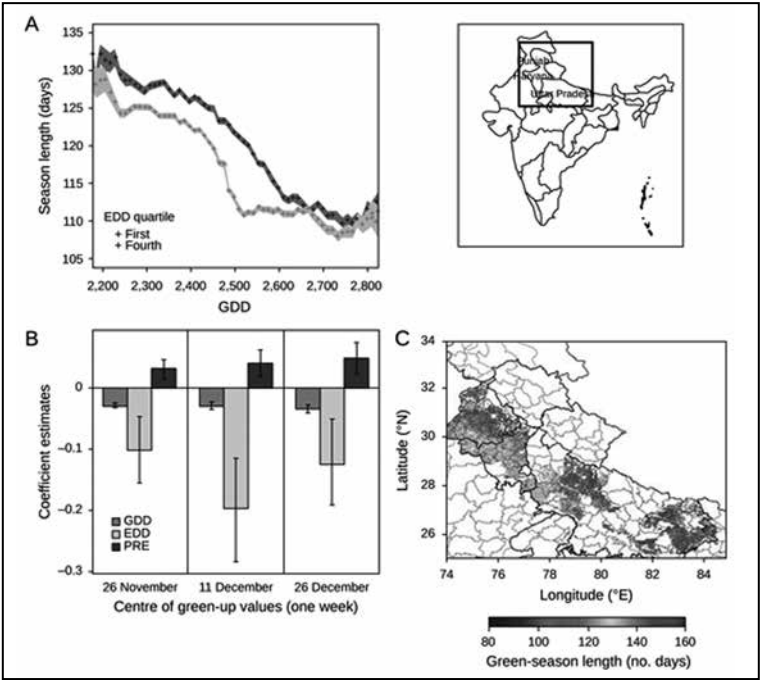
Notas:

- (i) Las predicciones de cambio en las precipitaciones monzónicas medias aparecen indicadas según los tres modelos regionales climáticos de la suite CORDEX (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment*) de los modelos climáticos regionales, a saber: HadGEM, RegCM y SNU MM5.
- (ii) Los cambios pronosticados en la precipitación monzónica media estival anual entre 1981-2000 y 2031-2050 se muestran para los RCP 4,5 y 8,5.

Los modelos que están diseñados para las predicciones de nivel regional también se caracterizan por un alto grado de incertidumbre, con resultados muy variables entre modelos. En este aspecto, damos un ejemplo de un modelo que abarca la región de la Cuenca del río Mahanadi (el modelo que utilizamos en nuestra discusión sobre las predicciones de temperatura: ver Gráfico 13).

¿Cuál es el panorama general de la India? Las tendencias generales sugieren un aumento en las temperaturas, incluso en la temperatura media general y en la media de las temperaturas diurnas y nocturnas. Con respecto a los efectos del calentamiento global sobre el monzón, tanto en el presente como en el futuro, todavía hay mucha incertidumbre. El Cuadro 5 muestra que sólo seis regiones de la India mostraron diferencias estadísticamente significativas (en un nivel de significación del 95%) de los cambios en las precipitaciones en los últimos 140 años, cuatro de ellas con una tendencia decreciente y dos con una tendencia creciente.

Gráfico 14. Dependencia de la duración de la temporada de cultivos según el guarismo de la suma térmica (*growing degree days*, GDD)⁸ y la suma térmica extrema (*extreme degree days*, EDD)⁹ para el trigo rabi en el Norte de la India



Notas:

La parcela (a) muestra la duración de la temporada de crecimiento de cultivos en distintos lugares con respecto al número de GDD y número de EDD para esa ubicación, con el inicio de la temporada de crecimiento de cultivo en una ventana de 14 días centrada alrededor del 11 de diciembre. Sólo las ubicaciones con el número de EDD en el primer cuartil (rojo) y el cuarto cuartil (azul), de la distribución de EDD, se incluyen para cada valor de GDD. Los sombreados rojo y azul indican el rango de las dos desviaciones estándar de la estimación del cuartil. La parcela (b) muestra los coeficientes estimados de regresión¹⁰ de GDD, EDD y las precipitaciones durante la temporada de cultivos para tres opciones diferentes de inicio de la temporada de cultivo basadas, respectivamente, en intervalos de 14 días centrados: 26 de noviembre, 11 de diciembre y 26 de diciembre.

|||||

8 La suma térmica (GDD) está dada por la exposición total a diferentes temperaturas. Esto se determina multiplicando el valor del exceso de temperatura (por encima de una temperatura base) por el número de días de exposición a ese valor de temperatura, tomando en cuenta la suma de todo el período de cultivo.

9 EDD es una medida similar a GDD pero sólo mide la exposición a temperaturas por encima del umbral crítico de 34°C.

10 El coeficiente de regresión se obtiene considerando la duración del período de cultivo como una variable independiente y, GDD, EDD y las precipitaciones de la temporada de cultivos, como variables dependientes. La parcela (b) en el gráfico muestra el coeficiente de regresión de las variables independientes.

Las barras de error indican el intervalo de confianza del 95% del coeficiente de regresión estimado. La parcela (c) muestra la duración de la temporada de cultivos de las regiones seleccionadas, donde las regiones blancas son aquellas con menos del 40% de la superficie de producción de trigo. Las regiones productoras de trigo, Punjab, Haryana y Uttar Pradesh se incluyen en el estudio según se indica en el mapa.

Sensibilidad de la agricultura de la India a las temperaturas y las precipitaciones

La sensibilidad de la agricultura de la India a las precipitaciones es bien conocida (ver, por ejemplo, Gadgil y Kumar, 2006; en particular las conclusiones con respecto a la dependencia del cultivo de arroz a la

***En condiciones de cambio climático,
se espera que los períodos de lluvias
extremas sean más frecuentes.***

cantidad de lluvias monzónicas en la India). Con respecto a la sensibilidad de la producción agrícola de la India a la variabilidad de temperaturas, un tema que hasta ahora no había sido bien estudiado, hay algunas observaciones nuevas e interesantes.

Lobell *et al.* (2012) han analizado el impacto de variabilidad de la temperatura en la producción de trigo en la India, utilizando datos de los Estados de Punjab, Haryana y Uttar Pradesh en el período 2000-09. Ellos muestran que el número de días que el cultivo está expuesto a temperaturas superiores a 34° C tiene un efecto significativo en la duración de la temporada de crecimiento (ver Gráfico 14). En particular, el número de días que el cultivo está expuesto a temperaturas por encima de la temperatura crítica (expresado en unidades de suma térmica extrema –EDD, *extreme degree days*– por encima de esta temperatura) es tan importante como el número de días que el cultivo está expuesto a temperaturas inferiores a la temperatura crítica (expresado en unidades de suma térmica –GDD, *growing degree days*– por debajo de esta temperatura). Por consiguiente, EDD parece ser una variable independiente. Puesto que la duración de la temporada de crecimiento es un factor determinante en la productividad de trigo, es evidente que los rendimientos de trigo dependen significativamente de la variabilidad climática. Este resultado está en línea con

las expectativas de la ciencia agraria que habíamos observado en la sección anterior.

El trabajo de Lobell *et al.* (2012) tiene una fuerte dependencia en el análisis y la interpretación de los datos de sensores remotos, utilizando datos de satélite del espectro radiómetro de imágenes de resolución moderada (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, MODIS) para medir el Índice de la Diferencia de la Vegetación Normalizado (*Normalised Vegetation Difference Index*, NDVI)¹¹ que se usa como la base para el análisis. Sería útil y necesario confirmar sus resultados por otros medios.

Junto con la variabilidad de la temperatura, la variabilidad de la precipitación también es un factor en este aspecto. La tosca correlación entre las variaciones en la precipitación monzónica anual total kharif ya ha sido examinada en Jayaraman (2011). En el resto de esta sub-sección, consideraremos la variabilidad de la precipitación en diferentes regiones y a diferentes escalas. Un análisis más detallado para establecer la correlación, si la hay, entre las fluctuaciones de las precipitaciones en las regiones correspondientes y las fluctuaciones en la producción agrícola regional espera un estudio detallado y, actualmente, no está disponible en la literatura.

En condiciones de cambio climático, se espera que los períodos de lluvias extremas sean más frecuentes. Incluso si el total de las precipitaciones sigue siendo el mismo, aún podría haber cambios significativos en la frecuencia e intensidad de la precipitación. En un análisis de los datos de IMD, Goswami *et al.* (2006) señalan que el número de eventos de lluvias por año con precipitaciones superiores a 100 mm había mostrado una tendencia creciente en la región Central de la India entre 1950 y 2000. En el mismo período, el número de eventos de lluvia moderada por año ha mostrado una tendencia decreciente. Se puede esperar que este tipo de comportamiento se extienda y se haga más significativo en el futuro. Eventos de precipitaciones extremas o eventos de precipitaciones intensas más frecuentes podrían dar lugar a efectos negativos, tales como un fuerte aluvión en los campos y un aumento de la erosión de los suelos. Eventos dramáticos de lluvias extremas, como

11 La medición de NDVI da un número (un índice) que mide la diferencia del reflejo de las características del suelo, como vegetación, roca, etc. en las zonas rojas e infrarrojas del espectro electromagnético. El NDVI difiere significativamente entre la vegetación y las otras características. De esta manera, NDVI proporciona una medida del grado de verdor debido a la vegetación en el terreno. Para distinguir los cultivos en particular, se requieren otras pruebas, como datos sobre el uso de la tierra, etc. En este documento, están excluidas las regiones que tienen menos del 40% de la superficie sembrada de trigo.

las inundaciones de Mumbai de 2005 o el desastre de Uttarakhand de 2013, podrían tener efectos aún más perjudiciales.

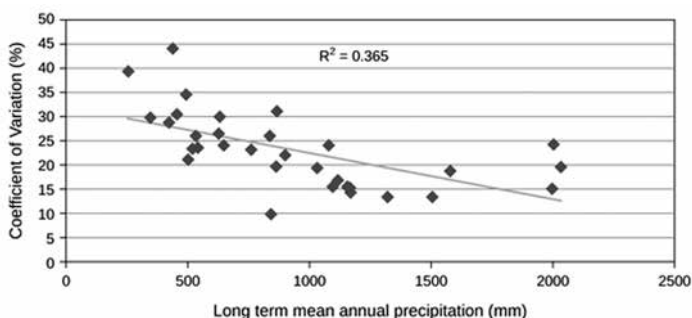
La variabilidad de las precipitaciones también puede adoptar la forma de una disminución significativa de las lluvias en años específicos. Como ya se ha señalado, la variabilidad interanual del monzón de la India en el largo plazo (150 años) es del orden de 10%, lo que equivale aproximadamente a una desviación estándar de la precipitación media anual a largo plazo. Esto implica que más o menos una vez cada tres años, el total de las lluvias monzónicas está un 10% o más por debajo de la media. Se prevé que aumente la frecuencia de la escasez de lluvias en períodos del ciclo del monzón cuando la precipitación se encuentra por debajo de la media de largo plazo, y que disminuya en los períodos cuando la temporada de lluvias está por encima de la media (Gadgil y Kumar, 2006).

La variabilidad regional de la precipitación también es significativa. Las regiones que tienen una precipitación relativamente baja muestran mayor variabilidad de año a año. El coeficiente de variación para cada subdivisión meteorológica es –casi– inversamente proporcional a la precipitación media anual en la subdivisión (Gráfico 15). El valor de R2 registrado en el gráfico que aparece a continuación es estadísticamente significativo, con un nivel de confianza del 95%. Si se excluyen los tres casos aislados de precipitaciones anuales muy altas, el valor de R2 se eleva a 0,5, aproximadamente.

El Gráfico 16 muestra las variaciones regionales en la precipitación media anual en toda la India, así como la frecuencia de evento anual de precipitaciones insuficientes para una escasez del orden del 20% o más. Esto puede denominarse período de retorno de precipitación escasa del 20% o, en otras palabras, el número de años en los cuales esta precipitación insuficiente ocurrirá al menos una vez. Curiosamente, el gráfico muestra que las regiones de baja precipitación anual (por debajo de los 600 mm) tienen más probabilidades de tener un año de precipitación insuficiente del 20% que las regiones de alta precipitación anual. El coeficiente de variación de la precipitación anual es considerablemente mayor en áreas de baja precipitación que en áreas de precipitación alta.

El Cuadro 6 muestra los períodos de retorno y las desviaciones de la media regional para cada uno de los dos niveles de gobierno. En la parte superior se encuentra la subdivisión de Marathwada en Maharashtra, desagregada en sus distritos constituyentes; debajo está el distrito Osmanabad desglosado en sus taluks constituyentes. Los datos muestran que la precipitación media varía significativamente en ambos casos.

Gráfico 15. Relación entre la variabilidad interanual y la media anual estival de largo plazo de las lluvias monzónicas para todas las subdivisiones del Departamento Meteorológico de la India (*India Meteorological Department, IMD*)



Fuente: datos de IMD, disponibles en <<http://tropmet.res.in>>.

Nota:

El análisis se realiza con datos para el período 1871-2012. El gráfico muestra que las subdivisiones con las medias más bajas tienen la variabilidad más alta. Aquí, coeficiente de variación se refiere al ratio de la desviación estándar de la media de los datos a largo plazo, y se calcula independientemente para cada subdivisión IMD.

En la actualidad, no hay análisis concluyentes que reúnan a los análisis de la temperatura y de la variabilidad de las precipitaciones y los relacionen con las fluctuaciones en la producción agrícola. Esta es claramente un área importante para futuras investigaciones. Lobell *et al.* (2011) presentan algunos resultados preliminares en este aspecto.

Antes de concluir esta sección, resumimos brevemente los puntos principales que se han tratado aquí. Existe una clara evidencia del aumento de las temperaturas en toda la India. Las temperaturas medias anuales en el período 1850-2010 han aumentado entre 0,6° y 0,8° C. El calentamiento ha sido más rápido en las últimas décadas. Las tendencias regionales indican que el aumento de la temperatura media anual podría ser superior a 1° C para algunas áreas, como las partes de la Costa Oriental y Rajasthan Occidental (Gráfico 6). Los modelos climáticos globales proporcionan predicciones razonablemente buenas para la totalidad de la India. En el caso de los escenarios más extremos del calentamiento global, las temperaturas podrían aumentar hasta 4° C hacia finales de siglo, en comparación con la temperatura promedio del período 1961-90. Sin embargo, las predicciones de aumento de la temperatura debido al calentamiento global a nivel regional continúan sujetas a numerosas incertidumbres,

que se reflejan en las amplias variaciones entre las predicciones de los diferentes modelos.

La determinación de las tendencias actuales en las precipitaciones también está sujeta a muchas incertidumbres. Esto se debe, principalmente, a que los factores climáticos que determinan las principales características del monzón de la India aún no se han comprendido muy bien. Sólo hay pruebas inequívocas de los cambios en las precipitaciones durante el período 1871-2012 de muy pocas regiones en el país. Sin embargo, una característica llamativa del monzón y la precipitación anual en la India es su variabilidad en todas las escalas

CyE

Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

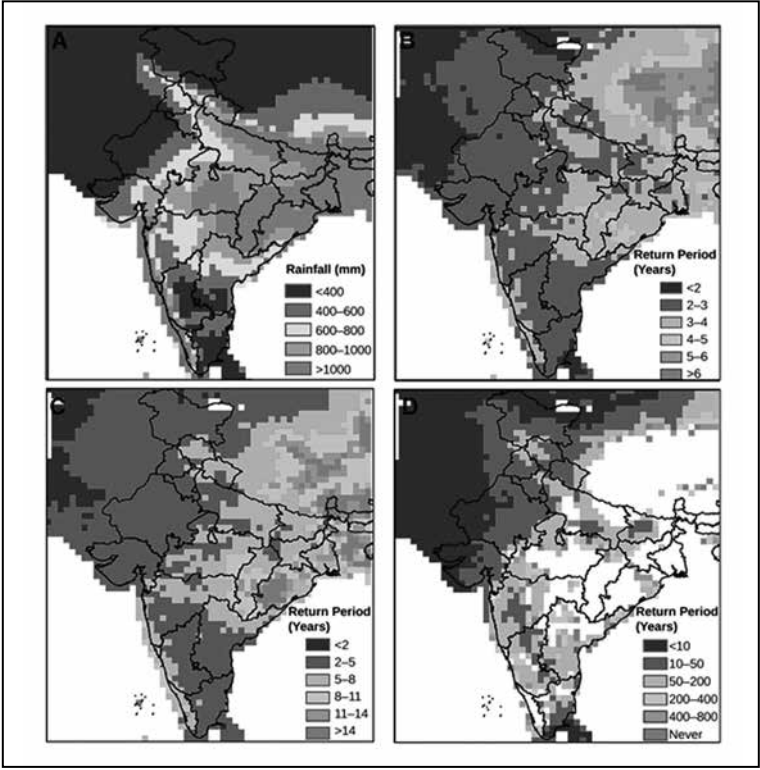
La agricultura de la India es particularmente sensible a la variabilidad del clima. Los estudios sugieren una fuerte dependencia de las fluctuaciones en la producción de los arrozales de las fluctuaciones en las lluvias monzónicas estivales.

espaciales. Los modelos climáticos aún no pueden reproducir la precipitación monzónica con algún grado de pericia, incluso en términos de predicción para la precipitación media anual. La simulación de la variabilidad de las precipitaciones es aún más confusa en los modelos climáticos. Comprender la variación regional de la precipitación es importante; en particular a la luz del hecho de que los datos históricos muestran que las regiones con baja precipitación media tienen una alta variabilidad interanual en comparación con las regiones con alta precipitación media. Los modelos climáticos regionales para la India que puedan reproducir todas estas características todavía están en un estado incipiente.

La agricultura de la India es particularmente sensible a la variabilidad del clima. Los estudios sugieren una fuerte dependencia de las fluctuaciones en la producción de los arrozales de las fluctuaciones en las lluvias monzónicas estivales. Un interesante estudio de producción de trigo (Lobell *et al.*, 2012) concluyó que los rendimientos de trigo en la India son sensibles a la cantidad de días de exposición a temperaturas extremas (por encima de 34° C). Por otra parte, el estudio también sugiere que la exposición a temperaturas extremas podría tener un mayor impacto sobre el rendimiento (a través de la disminución de la duración de la temporada de cultivos, expresada en términos

diarios de suma térmica y suma térmica extrema) que las precipitaciones en la temporada de crecimiento. Esto sugiere que con el futuro cambio climático, la producción de trigo rabi sería particularmente sensible al aumento de las temperaturas.

Gráfico 16. Variaciones regionales en la precipitación monzónica media anual estival y el período de retorno de la desviación de sus medias a largo plazo



Fuente: datos de CRU, disponibles en <<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/hrg/>>.

Nota:

Hemos utilizado datos de precipitaciones mensuales de la Unidad de Investigación Climática (*Climatic Research Unit*, CRU) para el período 1901-2012, con el fin de estimar los valores de la media y del período de retorno para cada cuadrícula en la matriz de datos. Los valores del período de retorno se refieren al número de años en los cuales la insuficiencia (o aumento) asociada en el quantum de precipitación ocurre al menos una vez durante este período. Parcela (A) muestra la variación regional de la media a largo plazo; mientras que las parcelas B), (C) y (D) muestran las variaciones regionales del período de retorno para una desviación del 10%, 20% y 50% de sus correspondientes medias a largo plazo en esa ubicación espacial, respectivamente.

Cuadro 6. Variabilidad espacial de la precipitación monzónica estival media anual (junio-septiembre) y variación espacial de la variabilidad interanual para la subdivisión Marathwada del Departamento Meteorológico de la India

CyE
Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

Distrito	Media del distrito (mm)	Diferencia entre la media del distrito y la media de la subdivisión (mm)	RP 10 (año)	RP 20 (año)	RP 50 (año)
Aurangabad	596,83	−94,17	2,23	4,29	nunca
Beed	650,61	−40,39	2,40	4,21	118,25
Latur	742,65	51,65	2,32	4,92	96,68
Nanded	870,39	179,39	2,29	4,89	nunca
Osmanabad	660,42	−60,06	2,24	5,37	71,46
Parbhani	767,01	76,01	2,08	6,83	nunca
Hingoli	824,01	133,01	2,74	3,83	nunca
Jalna	679,55	−11,45	2,16	5,23	nunca
Taluks del distrito Osma-nabad	Media del taluk (mm)	Diferencia entre la media del distrito y la media del taluk (mm)	RP 10 (año)	RP 20 (año)	RP 50 (año)
Osmanabad	729,9	38,90	1,96	2,81	593,40
Tuljapur	723,72	32,72	2,55	3,31	nunca
Paranda	528,24	−162,76	2,13	4,06	nunca
Bhum	674,02	−16,98	3,23	3,59	nunca
Kalamb	718,35	27,35	2,23	3,14	nunca
Umarga	640,94	−50,06	2,14	5,60	256,49
Lohara	589,86	−101,14	2,38	8,97	nunca
Vashi	678,36	−12,64	3,17	3,71	nunca

Fuente: los datos distritales se obtuvieron a partir de los datos disponibles en <<http://www.nicra-icar.in>> para el período 1971-2004. Los datos para los taluk se obtuvieron de los datos disponibles en <www.mahaagri.gov.in> del Departamento de Agricultura del Estado de Maharashtra para el período 1998-2012.

Nota:

RP se refiere al período de retorno en años, y el número a su lado se refiere al grado de insuficiencia en la precipitación, expresado como un porcentaje de desviación de la media, para ese período de retorno dado.

El impacto económico del cambio climático

¿Cuáles son las consecuencias económicas del cambio climático presente y futuro para la producción agrícola en la India, en términos del bienestar de aquellos cuyos medios de vida e ingresos dependen de la agricultura?

Variabilidad del clima como un indicador del cambio climático futuro

Actualmente, la producción agrícola en la India no está afectada directamente por el cambio climático, dado que continúa la tendencia general de las últimas décadas en la producción y rendimiento. Esto se ha debido en parte a que los niveles de producción comenzaron a partir de una base baja, y hay mucho margen de aumento antes de alcanzar algún tipo de límite de incremento. A nivel mundial, también hay muchas regiones donde, aunque los rendimientos actuales están cerca del potencial de rendimiento con respecto a cultivos diferentes, hay poca o nula evidencia de que la producción agrícola se vea seriamente comprometida o mermada como consecuencia del cambio climático.

Los científicos del clima están haciendo esfuerzos para analizar el grado en que determinados eventos climáticos extremos o la variabilidad climática pueden atribuirse al cambio climático. Sin embargo, las variaciones y los cambios en el patrón de producción agrícola que definitivamente se puedan atribuir al cambio climático, siguen siendo muy pocos. Algunos de estos casos se mencionan en Jayaraman (2011).

Gadgil y Kumar (2006) han estudiado las fluctuaciones de las precipitaciones estacionales totales y las fechas de inicio del monzón y su relación con las fluctuaciones en la producción de arroz. Señalan que hay una correlación fuerte entre estas variables¹². Estudios similares para otros cultivos y regiones aún no se han realizado.

La importancia de estudios exhaustivos de la variabilidad climática para predecir los efectos futuros del cambio climático ha sido destacada por Iizumi *et al.* (2013). Un estudio de producción de maní en Gujarat, donde los modelos de cultivo fueron examinados por su capacidad de predecir la producción pasada, demostró que las predicciones de modelos de cultivos estaban más sujetas a errores en los datos sobre la variabilidad interanual de la temperatura y las precipitaciones y a errores en los datos de rendimiento.

|||||

12 Sin embargo, su análisis de las fluctuaciones en el PIB del sector agrícola y a la variabilidad climática parece incierto y poco concluyente.

¿Quién se ve afectado por la sensibilidad de la agricultura al clima?

Jayaraman (2011) ha revisado las diferentes técnicas matemáticas y modelos que se utilizaron para medir el impacto de las tensiones y del estrés ambiental en la producción agrícola agregada, y el consiguiente impacto en el suministro de materias primas y los precios. Su crítica a ese tipo de modelos sigue siendo, en gran medida, válida: el principal cambio es que las técnicas utilizadas en los modelos anteriores se está ampliando a un mayor número de países y cultivos.

CyE
Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

[...] a nivel global, los pobres y los grupos de población que son más vulnerables al cambio climático son categorías con un solapamiento considerable.

Nos preocupa que con los datos, los recursos y la maestría que se están aportando desde colaboraciones de investigación a gran escala en esta área, las metodologías en uso comiencen a dominar el campo de manera unilateral. En particular, nos preocupa que los estudios de impacto de crisis y estrés ambiental en la producción agrícola no tienen en cuenta, suficientemente, el impacto diferencial en las distintas clases de productores.

El informe del Panel de Expertos de Alto Nivel (*High Level Panel of Experts*, HLPE) sobre seguridad alimentaria y cambio climático de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha realizado una sucinta crítica de los modelos dominantes contemporáneos: “Ninguno de estos esfuerzos de los escenarios globales intenta abordar las cuestiones distributivas dentro de los países ni la posibilidad de que el cambio climático afecta desproporcionadamente a los más vulnerables” (HLPE, 2012: 47)¹³. El informe también señala, en relación con la seguridad alimentaria y la Organización Mundial del Comercio (OMC), que los gobiernos deben construir un

THIAGARAJAN JAYARAMAN Y KAMAL MURARI

13 Para una breve revisión de este y otros informes del HLPE, ver: Sridhar (2012, 2013).

sistema de comercio multilateral transparente, basado en normas y responsable. Más explícitamente, declara que:

[...] estas reglas deben dar un mayor espacio a las preocupaciones de políticas públicas en cuanto a seguridad alimentaria, representar mejor la heterogeneidad de los miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y tener en cuenta las necesidades especiales de los países o grupos sociales pobres y vulnerables (*Ibíd.*).

Generalmente se reconoce que, a nivel global, los pobres y los grupos de población que son más vulnerables al cambio climático son categorías con un solapamiento considerable. Como consecuencia, cuando la producción agrícola y el suministro de alimentos se ven afectados por las crisis ambientales son los más propensos a sufrir las consecuencias. El desarrollo social y económico que garantice un suministro adecuado de alimentos, nutrición y salud, educación y acceso a servicios básicos a las amplias mayorías de la población constituye la primera línea de defensa contra el cambio climático.

En un estudio econométrico pionero, Guiteras (2009) trató de cuantificar el impacto del cambio climático futuro sobre los rendimientos (en términos de valor de la producción por hectárea) en diversos escenarios, por regresión de los rendimientos observados contra las tendencias actuales de la temperatura y la precipitación (teniendo muy en cuenta la variabilidad en ambas) y luego utilizó estos resultados para predicciones futuras. También incluyó en el análisis un número limitado de variables económicas, para asegurar que la relación entre rendimientos, temperatura y precipitación fue calculada con precisión. Este estudio predice que el cambio climático afectará la agricultura en la India significativamente, y que la reducción en el rendimiento a largo plazo (es decir, de 2070-99) sería del orden del 20 al 30% y en el mediano plazo (es decir, en 2040) del orden del 10%. Guiteras sugiere que es posible estimar los resultados distributivos de tales reducciones en el valor de la producción agrícola mediante varios métodos, incluyendo los que se basan en la matriz de contabilidad social (*social accounting matrix*, SAM). Este estudio, y algunos otros estudios similares de la agricultura en los Estados Unidos y Europa, no han recibido el reconocimiento adecuado en la literatura científica; sin embargo, parece ser una metodología fructuosa y digna de mayor exploración.

El HLPE de la FAO ha señalado tanto el papel crucial desempeñado por los pequeños agricultores en la producción de alimentos y seguridad alimentaria como su particular responsabilidad en la adaptación. Al mismo tiempo, el Panel reconoce que, tal vez, sabemos

muy poco aún sobre los métodos de cría de ganado y las variaciones de la producción agrícola a través de diferentes escalas de producción y actividad económica.

Sabemos muy poco sobre cómo (se) producen los cultivos y el ganado, y sobre cómo cambian las prácticas de gestión, con exactitud como para identificar patrones globales consecuentemente, pero se suele suponer que las granjitas son más propensas a participar en la agricultura y ganadería diversificadas, que podrían ser más resistentes al cambio climático. Por otra parte, las unidades económicas en pequeña escala tienen menos probabilidades de acceder a servicios adicionales, a mercados de nuevos insumos y semillas y a préstamos para financiar las operaciones. Obtener una mejor comprensión de las diferencias en las actividades agrarias y la vulnerabilidad al cambio climático es vital, para encontrar maneras de mejorar la seguridad alimentaria y para lidiar con los desafíos que el cambio climático plantea a la productividad y la estabilidad agrarias (HLPE, 2012).

Lo que está claro es que cuando los hogares se clasifican por algún criterio de *tamaño económico* – es decir, por el tamaño/clase de tenencia de la tierra, o por el tamaño/clase de unidad económica, o por el tamaño/clase de ingreso (o cosecha) anual total, o por otros métodos de clasificación socioeconómica– la realidad abrumadora es la agudísima *desigualdad* económica.

También es evidente que los pequeños agricultores –es decir, los agricultores en el extremo inferior de la escala con respecto a las explotaciones familiares de la tierra y otros activos, bienes o rentas– así como los campesinos pobres y medios son los más vulnerables a los diferentes tipos de crisis económicas y ambientales y a las fluctuaciones en los medios de subsistencia y los ingresos. Se encuentran en peor situación en materia de producción de cultivos (en términos de valor y físicos), compensación científica de insumos y otros aspectos de la tecnología, y de acuerdos en la tenencia de la tierra.

El Cuadro 7 muestra la divergencia drástica de la media de ingresos por la producción de cultivos entre los 20 hogares más desfavorecidos y los 20 hogares más beneficiados en 8 aldeas seleccionadas, censadas como parte Proyecto de Relaciones Agrarias en India (*Project on Agrarian Relations in India*, PARI). Como se puede observar, los ingresos de los 20 hogares más ricos son un múltiplo de la media, mientras que los ingresos de los 20 hogares más pobres son una fracción de la media. En 7 de los 8 casos, la cifra es *negativa* para los 20 hogares más

pobres; es decir, en promedio, tuvieron pérdidas en la producción de cultivos el año de la encuesta.

Cuadro 7. Ingreso neto anual promedio de la producción de cultivos por acre según unidad económica de los 20 hogares más pobres y más ricos en 8 aldeas de la encuesta PARI, censados entre 2006 y 2010

Estado	Distrito	Aldea	20 hogares más pobres	Media	20 hogares más ricos
Andhra Pradesh	Anantapur	Bukkacherla*	-5027	1049	6648
	Karimnagar	Kothapalle*	-1801	3091	8015
Uttar Pradesh	Bijnor	Harevli	-4965	6343	16350
	Ballia	Mahatwar	-3016	2665	9017
Maharashtra	Buldhana	Warwat Khan-derao	-782	6301	15893
	Kolhapur	Nimshirgaon*	-72	10598	26253
Rajasthan	Sri Ganganagar	25F Gulabewala	3553	7737	12024
Madhya Pradesh	Gwalior	Gharsondi	-5172	5338	20081

Fuente: datos de las encuestas PARI, según se relevan en Ramachandran (2011).

Notas:

Los ingresos se estiman en precios de 2008-09 usando el Índice de Precios al Consumidor para el Trabajo Agrícola (*Consumer Price Index for Agricultural*, CPIAL) a nivel estatal.

* Los 20 hogares de las aldeas, de la parte inferior y superior, marcados con un asterisco son promedios de los hogares de muestra.

Cuadro 8. Ingreso promedio de la producción de cultivos según unidad económica familiar por decil de ingreso agrícola, datos agrupados de las aldeas de la encuesta PARI, a precios de 2008-09

Hogares por decil según ingreso de producción de cultivo	Total Aldeas
1	-19161
2	-2397
3	859
4	3296
5	6419
6	11788
7	19427
8	33338
9	60661
10	323049
D10/D9	5,32

Fuente: datos de las encuestas PARI, según se citan en Ramachandran (2011).

Nota:

Este cuadro se basa en datos de 9 aldeas: 3 en Andhra Pradesh, Ananthavaram, Bukkacherla y Kothapalle; 2 en Uttar Pradesh, Harevli y Mahatwar; 2 aldeas en Maharashtra, Warwat Khanderao y Nimshirgaon; 1 aldea en Rajasthan, 25F Gulabewala y 1 aldea en Madhya Pradesh, Gharsondi. A efectos de comparación, los ingresos de todos los hogares fueron convertidos a precios de 2008-09, usando el nivel estatal CPIAL.

CyE

Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

El Cuadro 8, que reúne los datos de las mismas 8 aldeas¹⁴, pone de manifiesto las desigualdades de ingresos. Los hogares en los deciles más bajos o entre los 20 hogares más pobres, lógicamente, no hacen referencia sólo a los pequeños propietarios. Los hogares pueden pertenecer

La incapacidad de las familias campesinas pequeñas para bajar los costos de producción, usar eficientemente los insumos y obtener mayores ingresos por unidad económica es un reflejo de las desigualdades socioeconómicas de la sociedad rural...

a estas categorías debido a la inestabilidad de la producción agrícola en las condiciones actuales, particularmente la mayor exposición al riesgo en algunos cultivos y la inestabilidad de la agricultura de secano en algunas aldeas. El Cuadro 9, basado en los datos relevados de las mismas aldeas, y registrados en los cuadros 7 y 8, muestra el ingreso neto promedio por acre entre clases socioeconómicas diferentes.

La incapacidad de las familias campesinas pequeñas para bajar los costos de producción, usar eficientemente los insumos y obtener mayores ingresos por unidad económica es un reflejo de las desigualdades socioeconómicas de la sociedad rural, particularmente las desigualdades en la tenencia de la tierra y otros activos productivos, el pago de rentas por la tierra y maquinaria que los pequeños agricultores tienen que hacer, los altos costos por los cuales obtienen acceso a los insumos y la falta de acceso a los mercados. Las condiciones de trabajo y de los medios de subsistencia para los peones rurales y los pequeños y medianos agricultores también se traducen en graves déficits de desarrollo humano para una proporción significativa de hogares rurales.

THIAGARAJAN JAYARAMAN Y KAMAL MURARI

14 Más el agregado de la aldea Ananthavaram, como se indica en la nota del Cuadro 8 [N. de la T.].

Cuadro 9. Ingreso promedio neto de producción agrícola por acre según unidad económica por clase, datos reunidos de aldeas de la encuesta PARI, en precios de 2005-06

Estado	Distrito	Aldea	Terrateniente	Campe-	Campe-	Campe-	Peón rural
				sino 1 (rico)	sino 2 (medio)	sino 3 (pobre)	
Andhra Pradesh	Guntur	Ananthavaram	7534	15022	3238	485	993
	Anantapur	Bukkacherla	-274	1134	894	207	2159
	Karimnagar	Kothapalle	4839	2210	3188	3523	2039
Uttar Pradesh	Bijnor	Harevli	6636	8627	6640	2134	1634
	Ballia	Mahatwar	3458	6957	2656	952	1745
Maharashtra	Buldhana	Warwat Khanderao	9576	7594	5515	5660	1358
	Kolhapur	Nimshirgaon	16231	13001	9449	5888	-58
Rajasthan	Sri Ganganagar	25F Gula-bewala	7077	6004	5890	-	-
	Sikar	Rewasi	3304	3299	469	517	-572
Madhya Pradesh	Gwalior	Gharsondi	7031	5634	3924	3035	1258

Fuente: Rawal (2014).
Nota: datos de la encuesta PARI.

Resultados similares, que hablan de la cuestión de la escala planteada por HLPE (2012), se mencionaron en otro estudio encargado por la Comisión de Planificación del Gobierno de la India, sobre la agricultura en la India Oriental (Haque *et al.*, 2010). Este estudio utiliza una muestra extraída de varios distritos de los Estados de Uttar Pradesh, Bihar, Jharkhand, Odisha y Bengala Occidental. Esto demuestra que los rendimientos de los cultivos de las explotaciones en manos de agricultores pequeños y marginales son significativamente inferiores a los rendimientos correspondientes a las explotaciones de los grandes agricultores. El estudio también informa que la relación de insumo/producción, así como la de renta/dispendio, es menor en las unidades económicas pequeñas y marginales que en grandes explotaciones.

Las diferencias considerables entre la producción y los ingresos sugieren que los agricultores pequeños y marginales son más susceptibles que otros a la variabilidad climática y al cambio climático. Efectivamente, el cambio climático es una amenaza inmediata para los agricultores pequeños y marginales, aunque no hay que olvidar que su susceptibilidad a la crisis y estrés ambiental es consecuencia de las condiciones socioeconómicas y no alguna especie de “pobreza ambiental”.

En cuanto al impacto de cambio climático en la agricultura, el Instituto Central de Investigación para la Agricultura de Secano (*Central Research Institute for Dryland Agriculture*, CRIDA) ha producido una serie de publicaciones¹⁵ sobre la sequía, la gestión de la sequía y las diversas estrategias y planes de adaptación a la sequía y su impacto en diferentes subsectores. Estas publicaciones, sin duda, tienen valor científico desde el punto de vista de la ciencia agraria. Pero tienen poca o ninguna referencia a cuestiones de escala y de aplicación efectiva y potencial de sus recomendaciones por parte de los agricultores de diferentes categorías socioeconómicas.

Variabilidad climática, cambio climático y desastres naturales

Como en el caso de la variabilidad climática, los desastres naturales también ofrecen una lucarna sobre algunas de las consecuencias potenciales más dramáticas del cambio climático. Mientras que la variabilidad climática o los extremos climáticos pueden considerarse como peligros o amenazas, el término desastre natural implica algo más. Por lo general, se refiere al momento en que los procesos normales para afrontar los peligros naturales están desbordados. Estos procesos normales, , resultan dramáticamente insuficientes ante la magnitud del evento específico. Típicamente, la naturaleza de la propia actividad humana puede amplificar el impacto de un peligro natural en el bienestar social e individual (o incluso, en algunas ocasiones, provocar el evento).

Los desastres naturales continúan siendo una característica omnipresente de la vida en las zonas rurales de la India. Mientras que la amenaza de hambruna es cosa del pasado, la población rural sigue sufriendo el impacto de la sequía, las inundaciones, los ciclones y otros fenómenos naturales peligrosos. Los bajos niveles de desarrollo exponen a la población rural, particularmente a los pobres, a peligros de forma diaria y persistente. Las mujeres y los niños son quienes más sufren la carga de una enorme variedad de esos peligros cotidianos: por ejemplo, sabemos incluso por los diarios sobre jóvenes que pierden sus vidas al ir a la escuela en barcas; del peaje en vidas de mujeres cobrado por el humo de la cocina tradicional; de las inundaciones que se producen debido a causas como la liberación de agua de un embalse desbordante en canales que no son adecuados para recibir tales flujos repentinos.

|||||

15 Algunas de estas publicaciones pueden consultarse en <www.crida.in>.

La pobreza puede conducir a los hogares rurales a medios de subsistencia que los ponen en el callejón de estos desastres naturales. Los agricultores pobres que cultivan en los lechos de los ríos o en zonas bajas cercanas a los canales de desagüe están expuestos a inundaciones repentinas. Los habitantes de las aldeas de Uttarakhand que trabajan en la industria turística y de peregrinación, por ejemplo, están muy expuestos a la amenaza de muerte y desastres por inundación repentina. Proyectos de construcción sin regular ni supervisar siguen exponiendo a grandes sectores de la población a los peligros naturales en diferentes partes del país, tanto rurales como urbanas.

Se espera que el cambio climático aumente la frecuencia de los desastres naturales como, por ejemplo, eventos de lluvias torrenciales, aumento en el caudal de los ríos, inundaciones más intensas y, tal vez, ciclones más seguidos. Otros fenómenos posibles similares incluyen la ruptura de los bancos de los lagos naturales ocasionada por los desprendimientos de tierra durante el deshielo y desprendimiento de los glaciares o, incluso, un aumento de la tendencia general de las inundaciones en las zonas bajas. En muchos sentidos, implementar la morigeración de los peligros de las catástrofes mediante la reducción de la ocurrencia de los desastres naturales, mitigar sus consecuencias cuando realmente ocurren y diseñar adecuados medios para asegurar la recuperación es la primera línea de defensa contra el desafío del cambio climático. Se incluye una encuesta autorizada y bien exhaustiva, de la relación entre cambio climático y desastres naturales, en el Informe Especial sobre Fenómenos Extremos del IPCC (IPCC, 2012).

Con respecto a las nuevas orientaciones para el estudio, el informe del Panel de Expertos de Alto Nivel sobre Seguridad Alimentaria y Cambio Climático de la FAO reconoce que hasta ahora se requiere más trabajo para entender el impacto del cambio climático sobre las condiciones de producción en la agricultura. En la actualidad, hay poca información disponible sobre el impacto diferencial del clima, la variabilidad climática y el cambio climático, a través de las diferentes escalas de producción y los distintos estratos socioeconómicos de los productores. Un inicio podría ser hecho por estudios que sigan el impacto de los desastres en la producción agrícola, que evalúen la pérdida y el daño a la producción rural y que continúen estudiando la producción y los productores durante el proceso de recuperación. Estos estudios deberán tener en cuenta, además, el impacto diferencial de los desastres, así como el proceso de recuperación diferencial entre los diferentes estratos de los hogares rurales. Los datos del Panel de Expertos sobre las poblaciones rurales, con especial énfasis en la

relación entre las variables climáticas, la producción de cultivos y los ingresos de los diferentes estratos socioeconómicos de los agricultores, también pueden proporcionar información valiosa.

En este trabajo hemos intentado subrayar la importancia de comprender las condiciones climáticas de la producción agrícola en el presente y sus consecuencias económicas. Esencialmente, esto es necesario en vista de la gran parte de la población rural de la India que depende de la agricultura para sustento e ingresos. Para cualquier criterio de cálculo, el hecho mismo del tamaño de la población que depende de la agricultura hace del tema de su vulnerabilidad a la variabilidad

***Actualmente, existe un amplio
acuerdo (salvo entre una minoría
fanática y/o escéptica) que el
calentamiento global es un hecho
científico y que está en curso.***

del clima y al cambio climático un tópico de relevancia e importancia por derecho propio.

Tenemos que entender la importancia relativa de las tendencias seculares de temperaturas y precipitaciones y su relación con las fluctuaciones de la producción agrícola, desglosadas por cultivos y zonas agroecológicas. Es necesario realizar estudios sobre el grado en que el riego mitiga tales fluctuaciones. Este tipo de relaciones no necesariamente refleja las condiciones ambientales. También puede reflejar, en cierta medida, las opciones de cultivo de los agricultores basados en su juicio de precipitaciones potenciales (Gadgil y Kumar, 2006) y beneficios potenciales.

Una cuestión importante que no hemos desarrollado en este trabajo es el curso de acción que se requiere como vía de adaptación al clima en el sector agrícola. A pesar de la omisión, algunas características generales de lo que se requiere germinan de nuestra discusión en las secciones anteriores. El desarrollo del sector agrícola de la India y, ante todo, la garantía de estabilidad y productividad de la mayor parte de los hogares de trabajadores manuales y de las unidades económicas agropecuarias medianas, pequeñas y marginales, parece ser la primera condición necesaria para la producción agraria que será resistente al cambio climático. Al afirmar esto, por supuesto, se debe notar que la

actual política de Estado ha sido particularmente problemática para estos mismos sectores de la población rural (Ramachandran, 2011). Dado el actual estado de cosas, el cambio climático y sus efectos aleatorios constituirán un desafío oneroso adicional para estas secciones rurales de la India.

También hemos discutido las incertidumbres considerables sobre el futuro impacto del cambio climático. Una consecuencia importante de estas incertidumbres es que la adaptación al clima no puede ser una estrategia rectilínea que pretenda determinar cómo pasamos de la situación actual a una situación conclusiva predeterminada. Claramente, la adaptación al clima tiene que evolucionar y la toma de decisiones requerirá una supervisión y realineación constantes, según el despliegue a futuro.

Sin embargo, de ninguna manera las incertidumbres impiden la necesidad de aprender a lidiar con las variaciones climáticas. Mientras que este tipo de aprendizaje es esencial para la población rural en el presente, también será valioso cuando se presenten los graves efectos del calentamiento global en curso. Además, este argumento no significa que las cuestiones del cambio climático y la agricultura carezcan de urgencia. En todo caso, hace aún más urgente la cuestión del desarrollo rural en general. Considerando la experiencia de otros países en vías de desarrollo, podemos hacer una estimación certera de la escala de tiempo requerida para la erradicación de la pobreza a gran escala y el avance en el bienestar de la mayoría de la población rural. Ahora, estas escalas de tiempo coinciden con la escala de tiempo cuando los impactos del calentamiento global se manifiesten más. Por tanto, el desarrollo en general y el desarrollo de la resiliencia al cambio climático deben ir juntos. La política climática global de la India, desgraciadamente, no refleja ninguna comprensión seria de esto excepto como retórica. Es en interés de la India, el impulsar un pronto acuerdo climático que pueda asegurar que la carga de la adaptación no resulte onerosa.

Conclusiones

Actualmente, existe un amplio acuerdo (salvo entre una minoría fanática y/o escéptica) que el calentamiento global es un hecho científico y que está en curso. Sin embargo, hay diferencias, además de confusión, con respecto a la acción actual necesaria para afrontar las consecuencias futuras del cambio climático. En este sentido, la relación entre la variabilidad intrínseca del clima y el impacto de los cambios en los niveles y la variabilidad de los indicadores del clima como resultado del calentamiento global, es de particular importancia.

Algunos activistas e investigadores de políticas y ciencia del clima sugieren que el calentamiento global ya ha dado lugar a consecuencias negativas extendidas para la producción agrícola. El sello distintivo de este tipo de argumentos es la yuxtaposición de conclusiones científicas sobre el *futuro* cambio climático con ejemplos tomados de los efectos de la *actual* variabilidad del clima sin aclarar la relación entre los dos. En este aspecto, el problema se ve reforzado por el hecho de que estos ejemplos habitualmente provienen de estudios de caso de agricultores pequeños y marginales entre los cuales la producción agrícola es vulnerable a diferentes tipos de variación, incluso a variaciones climáticas, aun en ausencia de cambio climático.

Otra línea de argumentación, aunque más circunspecta a la hora de afirmar que las consecuencias negativas del cambio climático ya son evidentes, empero, considera al cambio climático como *el* tema de preocupación primordial para la agricultura. Según este punto de vista, las cuestiones relativas a la producción agrícola deben examinarse en el contexto del calentamiento global. Esta línea de argumentación, a menudo, presta muy poca atención a la complejidad de la interacción de factores socioeconómicos que afectan a la producción agrícola y a las condiciones ambientales y climáticas en las cuales ocurre dicha producción.

La primera línea de argumentación ha sido popular especialmente entre las ONG y las organizaciones de trabajo social internacionales y nacionales¹⁶. La segunda línea de argumentación ha sido impulsada por instituciones multilaterales varias, desde agencias del sistema de Naciones Unidas hasta agencias de cooperación de países desarrollados¹⁷.

Un problema crucial con estos argumentos es que no estudian adecuadamente los datos sobre la producción agrícola en el tiempo y a través de las regiones, cultivos y estratos socioeconómicos

16 Una buena imagen es proporcionada por el informe del Grupo de Trabajo sobre Cambio Climático y Desarrollo, un consorcio de 23 ONG (Working Group on Climate and Development, 2007).

17 Hay muchos informes que siguen esta segunda línea de argumentación. Entre algunos de los más recientes figuran los del Banco Mundial (2012, 2013). El último de ellos incluye debates específicos sobre el impacto del cambio climático en la agricultura en Sudeste Asiático, Asia del Sur y África Sub-Sahariana. Sin embargo, no termina de zanjar interrogantes. En este informe, casi no hay discusión sobre cómo y por qué la producción agrícola actual es deficitaria en muchas regiones, y cómo lidiar con el déficit de producción puede ayudar a hacer frente al cambio climático en el futuro. El informe también tiende a recalcar los efectos negativos del cambio climático de forma tendenciosa sin una indagación cuidadosa de las incertidumbres implicadas.

de los productores, con el fin de comprender las dimensiones ambientales y socioeconómicas de la sensibilidad de la agricultura al clima. Asimismo, muchos estudios combinan rutinariamente problemas de vulnerabilidad climática actual con problemas de adaptación al cambio climático en el futuro.

La política climática hoy corre dos tipos de riesgo. En primer lugar, corre el riesgo de subestimar la carga de adaptación para hacer frente al cambio climático en el futuro. En segundo lugar, corre el riesgo de poner demasiado énfasis en las limitaciones ambientales y climáticas para la producción agrícola en el presente, mientras que obvia el rol de los factores socioeconómicos como barreras significativas para el crecimiento agrícola.

Este trabajo, que se basa en una revisión de la literatura, pretende distinguir la cuestión de la variabilidad del clima actual y sus consecuencias de la cuestión del impacto del cambio climático en el futuro. También se analizan las incertidumbres para predecir impacto futuro del cambio climático, incertidumbres que constituyen una barrera para determinar los requerimientos de adaptación. Al mismo tiempo, el trabajo también intenta delinear lecciones relevantes para afrontar un futuro de cambio climático.

La primera sección del trabajo presenta los aspectos más destacados de los resultados científicos del V Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Las conclusiones relativas a la variabilidad y aumento de la temperatura son las más sólidas a escala global, mientras que las conclusiones relativas a la precipitación están sujetas a una mayor incertidumbre. El aumento del nivel del mar es otra área en el campo de los estudios del calentamiento global donde resultados significativos y robustos se encuentran disponibles.

Las temperaturas globales están aumentando, así como también la ocurrencia de eventos de temperatura extremos cuando las temperaturas suben por encima de la media. Es “muy probable” que estos eventos se deban al calentamiento global antropogénico. El calentamiento global también está contribuyendo al aumento de precipitaciones extremas en cuanto a la frecuencia de ocurrencia, la intensidad y la cantidad de precipitación, aunque en este caso la conexión con el calentamiento global antropogénico no es tan cierta como en el caso de la temperatura.

La segunda sección del trabajo examina algunos resultados recientes sobre el impacto del cambio climático en la agricultura, con un enfoque sobre los efectos de la variabilidad del clima en la producción de cultivos. En general, en la actualidad hay más estudios

disponibles sobre el impacto de las temperaturas medias más altas en la producción de cultivos que en el momento del IV Informe de Evaluación del IPCC. Ahora parece que, en ausencia de escasez de nitrógeno, el impacto del cambio climático en la producción agrícola no es tan grave como se estimó anteriormente.

En cuanto al papel de la variabilidad climática, observamos que los modelos de simulación proporcionan evidencias de que una mayor variación climática por sí sola puede reducir los rendimientos en términos comparables (o mayores) al impacto del aumento de las temperaturas medias. En este aspecto, hay evidencia empírica: el trigo expuesto por más días a temperaturas extremas en el Norte de la India tuvo menor rendimiento.

El cambio climático en curso mediante el aumento de las temperaturas ha tenido un impacto negativo en la producción de cultivos en distintas partes del mundo, aunque este impacto haya sido más que compensado en la práctica por una gestión optimizada y otros factores tecnológicos. Las predicciones de los modelos climáticos de las tendencias de la temperatura en el futuro indican que una mayor proporción de la producción agrícola global estará expuesta al sobrecalentamiento que, en potencia, conduce a mermar los rendimientos y la producción.

La tercera sección del trabajo examina algunos de los resultados para la India con respecto a las tendencias actuales y futuras de la temperatura y la precipitación, las dos variables climáticas más críticas para la agricultura. Datos del Departamento de Meteorología de la India muestran que la temperatura media anual en todo el subcontinente ha aumentado de 0,6° a 0,8° C durante el periodo 1850-2010. A nivel regional, este aumento varió entre 0,5° C y 1° C. En el caso de las predicciones de temperaturas a futuro, a pesar de las numerosas incertidumbres en las predicciones de los modelos climáticos a escala regional, la tendencia general es, a todas luces, de aumento. La magnitud del aumento previsto, sin embargo, varía según los modelos climáticos, especialmente en cuanto a predicciones para unidades espaciales más pequeñas.

Las tendencias de precipitación son una cuestión más compleja, especialmente debido a las dificultades para trazar el modelo del comportamiento de monzón. El monzón de la India muestra una variabilidad notable en los últimos 150 años. El valor del promedio móvil de 30 años de precipitación monzónica estival total anual muestra un patrón cíclico ostensible durante un periodo de, aproximadamente, 70 años. Los datos muestran que los periodos de alta están fuertemente vinculados a los periodos de baja variabilidad interanual de la

precipitación monzónica total, y viceversa. Una tendencia similar también es evidente espacialmente, a escala regional (hasta el nivel subdistrital). Las regiones de alta precipitación monzónica estival anual promedio a largo plazo se caracterizan por la baja variabilidad interanual de la precipitación monzónica estival anual, y viceversa.

Una comparación de la distribución de probabilidad de la precipitación monzónica total anual estival en los primeros 50 años del período de 1871-2012 y en los últimos 50 años el mismo período no mostró cambios estadísticamente significativos. A niveles regionales, sólo 3 de las 32 subdivisiones meteorológicas (según la clasificación del IMD) mostraron alguna variación estadística significativa para comparaciones similares. Para todas las demás regiones, no hay ninguna tendencia estadísticamente significativa de variación en el comportamiento del monzón para esta medida.

Durante el período 1950-2000, el número de eventos de precipitación extrema –con precipitaciones más de 100 mm– aumentó, mientras que el número de eventos de precipitación moderada disminuyó. Se espera que el número de eventos de precipitación extrema aumente con el calentamiento global.

Las predicciones relativas a la precipitación a nivel subcontinental y regional están, sin embargo, sujetas a incertidumbres considerables. La única predicción sólida parece ser que se puede esperar que la precipitación total sobre el subcontinente aumente, aunque la magnitud de ese aumento es muy incierta. Los modelos climáticos para las futuras precipitaciones en el subcontinente de la India deben progresar mucho más para obtener conclusiones más sólidas.

En la actualidad, hay poca evidencia que el cambio climático haya tenido un impacto generalizado en los rendimientos o en la producción agrícola total en la India. Sin embargo, nuestra digresión de la importancia de la variabilidad climática para la producción agrícola indica que el impacto de las variaciones de temperatura y precipitación de agricultura de la India es una fuente de información importante para hacer frente al efecto del cambio climático en la agricultura en el futuro. En particular, aparte de las variaciones en las precipitaciones, que tradicionalmente han sido la principal preocupación con respecto a la relación entre el clima y la agricultura en la India, el impacto de las variaciones de temperatura también debe ser considerado seriamente. La literatura sobre este tema es limitada, y esta es un área de investigación que merece esfuerzos concertados.

En los países menos desarrollados, una de las cuestiones críticas es el impacto de la variabilidad climática y el cambio climático en los sectores más vulnerables de la población rural, en particular

los trabajadores sin tierra y los agricultores pequeños y marginales. Gran parte del esfuerzo científico actual en el modelado del impacto económico del cambio climático en la agricultura, presta poca atención a su naturaleza diferenciada con respecto a los distintos estratos socioeconómicos.

Los análisis empíricos actuales indican claramente que los pequeños agricultores se encuentran entre los más vulnerables a todo tipo de crisis económicas y ambientales. Esta vulnerabilidad se relaciona visiblemente con las desigualdades socioeconómicas existentes de la sociedad rural. Estas desigualdades también causan graves déficits de desarrollo humano para una proporción significativa de hogares rurales. Para estos sectores desfavorecidos de la sociedad rural, el cambio climático es una amenaza inmediata.

Las cuestiones pendientes hoy en el cambio climático y la agricultura no son, en esencia, los aspectos técnicos del cambio climático, la precisión en la estimación de su impacto o la naturaleza de las estrategias de resiliencia y adaptación al clima –aunque todas estas sean, en sí mismas, cuestiones realmente importantes. La cuestión que todavía no está en el centro de la escena, a pesar de su importancia, es que la causa última de la persistencia de la pobreza y las privaciones entre una gran parte de quienes se dedican a la agricultura no se encuentra, en definitiva, en las condiciones ambientales. Se encuentra encuadrada en las relaciones sociales y económicas de la sociedad rural. Una transformación radical de estas condiciones será crucial para determinar la manera en que el pueblo de la India rural afronte, en definitiva, el desafío ambiental global.

Referencias

- Chaturvedi, R. K. *et al.* 2012 “Multi-Model Climate Change Projections for India under Representative Concentration Pathways” en *Current Science*, Vol. 103, N° 7: 1-12.
- Cutter, Susan *et al.* 2009 *Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature* (Columbia: Oxfam / Hazards and Vulnerability Research Institute - University of South Carolina). En <http://adapt.oxfamamerica.org/resources/Literature_Review.pdf> acceso 18 de diciembre de 2014.
- Easterling, W. E. *et al.* 2007 “Food, Fibre and Forest Products. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability” en Parry, M. L. *et al.* (eds.) *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge: Cambridge University Press) pp. 273-313.
- Gadgil, S. 2003 “The Indian Monsoon and its Variability” en *Annual Review of Earth Planet Science*, Vol. 31: 429-67.
- Gadgil, S. y Kumar, K. R. 2006 “The Asian Monsoon, Agriculture and Economy” en Wang, B. (ed.) *The Asian Monsoon* (Nueva York: Springer / Praxis) pp. 651-83.

- Gadgil, S. y Srinivasan, J. 2012 “Monsoon Prediction: Are Dynamical Models Getting Better than Statistical Models?” en *Current Science*, Vol. 103: 257-9.
- Goswami, B. N. *et al.* 2006 “Increasing Trend of Extreme Rain Events over India in a Warming Environment” en *Science*, Vol. 314, N° 5.804: 1.442-45.
- Gourdji, S. M.; Sibley A. M. y Lobell, D. B. 2013 “Global Crop Exposure to Critical High Temperatures in the Reproductive Period: Historical Trend and Future Projections” en *Environmental Research Letters*, Vol. 8, N° 24.041.
- Guiteras, R. 2009 “The Impact of Climate Change on Indian Agriculture” en <<http://www.econ.umd.edu/research/papers/34>> acceso 15 de diciembre de 2013.
- Gulati, A.; Saini, S. y Jain, S. 2013 “Monsoon 2013: Estimating the Impact on Agriculture” (Nueva Delhi: Comisión de Costos y Precios Agrícolas, Ministerio de Agricultura). En <http://cacp.dacnet.nic.in/DP8_Monsoon_2013.pdf> acceso 18 de diciembre de 2013.
- Gustafson, David I. *et al.* 2013 “Climate Adaptation Imperatives: Global Sustainability Trends and Eco-Efficiency Metrics in Four Major Crops: Canola, Cotton, Maize, and Soybeans” en *International Journal of Agricultural Sustainability*.
- Hafner, S. 2003 “Trends in Maize, Rice and Wheat Yields for 188 Nations over the Past 40 years: A Prevalence of Linear Growth” en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 97: 275-83.
- Haque, T. *et al.* 2010 *Constraints and Potentials of Diversified Agricultural Development in Eastern India*, (Nueva Delhi: Concejo para el Desarrollo Social). En <http://planningcommission.nic.in/reports/sereport/ser/ser_agridiv1102.pdf> acceso 15 de diciembre de 2013.
- High Level Panel of Experts (HLPE) 2012 *Climate change and food security: A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security* (Roma: FAO).
- Iizumi, Toshichika *et al.* 2013 “Prediction of Seasonal Climate-Induced Variations in Global Food Production” en *Nature Climate Change*.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2013 *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge / Nueva York: Cambridge University Press).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2003 “Summary for Policymakers” in *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge / Nueva York: Cambridge University Press).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2002 *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge / Nueva York: Cambridge University Press).
- 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 Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge / Nueva York: Cambridge University Press).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2000 *Special Report on Emission Scenarios* (Cambridge: Cambridge University Press). En <<https://www>>

ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-en.pdf> acceso 6 de diciembre de 2013.

CyE

Año VI
Nº 12
Segundo
Semestre
2014

- Jayaraman, T. 2011 "Climate Change and Agriculture: A Review Article with Special Reference to India" en *Review of Agrarian Studies*, Vol. 1, N° 2. En <http://www.ras.org.in/climate_change_and_agriculture>.
- Lobell, D. B.; Sibley, A. y Ortiz-Monasterio, J. I. 2012 "Extreme Heat Effects on Wheat Senescence in India" en *Nature Climate Change*, N° 2: 186-9.
- Lobell, D. B.; Schlenker, W. S. y Costa-Roberts, J. 2011 "Climate Trends and Global Crop Production since 1980" en *Science*, N° 333: 616-20.
- Menon, A. *et al.* 2013 "Consistent Increase in Indian Monsoon Rainfall and its Variability across CMIP-5 models" en *Earth System Dynamics Discussion*, Vol. 4: 1-24.
- Murari, Kamal K. *et al.* 2013 "Evaluations of Superensemble and Multi-Model Average of CMIP5 Simulations for Indian Rainfall" en *International Journal of Climatology*.
- Natcom II 2012 *India: Second National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Nueva Delhi: Ministerio de Medio Ambiente y Bosques). En <<http://envfor.nic.in/>> acceso 10 de diciembre de 2013.
- Nelson, Gerald C. *et al.* 2009 *Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation, Food Policy Report* (Washington: International Food Policy Research Institute). En <<http://www.ifpri.org/publications/climate-change-impact-agriculture-and-costs-adaptation>> acceso 15 de diciembre de 2013.
- Rama Rao, C. A. *et al.* 2013 *Atlas on Vulnerability of Indian Agriculture to Climate Change*, (Hyderabad: Central Research Institute for Dryland Agriculture). En <<http://www.nicra-icar.in/nicrarevised/index.php?option=comedit&id>> acceso 15 de diciembre de 2013.
- Ramachandran, V. K. 2011 "Notes on the State of Agrarian Relations in India Today" (*mimeo*).
- Rawal, V. 2014 "Cost of Cultivation and Farm Business Incomes in India", presentado en la *Conferencia por el X Aniversario de la Fundación de Estudios Agrarios* "On Agrarian Issues" en Kochi del 9 al 12 de enero.
- Rosenzweig, C. *et al.* 2013 "Assessing Agricultural Risks of Climate Change in the XXI Century in a Global Gridded Crop Model Intercomparison" en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pp. 1-6.
- Schellnhuber, Hans Joachim, *et al.* 2013 "Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience - Full Report" (Washington: World Bank).
- Semenov, M. A. y Porter, J. R. 1995 "Climatic Variability and the Modelling of Crop Yields" en *Journal of Agriculture of Forest Meteorology*, Vol. 73: 265-83.
- Singh, D. y Singh, S. 2011 "Crop Responses to Climate Variation" en Rao, V. U. M. (ed.) *Agricultural Drought: Climate Change and Rain-Fed Agriculture* (Hyderabad: Central Research Institute for Dryland Agriculture) pp. 145-55.
- Sridhar, V. 2014 "Biofuels, Smallholder Agriculture, and Food Security" en *Review of Agrarian Studies*, Vol. 3, N° 2. En <http://ras.org.in/biofuels_smallholder_agriculture_and_food_security> acceso 31 de mayo de 2014.
- Sridhar, V. 2013 "Globalisation and the Determinants of Food Security" en *Review of Agrarian Studies*, Vol. 2, N° 2. En <<http://ras.org.in/>>

globalisation_and_the_determinants_of_food_security> acceso 31 de mayo de 2014.

Teixeira, E. I. *et al.* 2013 “Global Hot- Spots on Heat Stress on Agricultural Crops Due to Climate Change” en *Agriculture and Forest Meteorology*, Vol. 170: 206-15.

Turner, A. G. y Annamalai, H. 2012 “Climate Change and the South Asian Summer Monsoon” en *Nature Climate Change*, Vol. 2: 587-95.

Working Group on Climate Change and Development 2007 *Up in Smoke: Asia and the Pacific* (Londres: New Economics Foundation).