

máticos y de su predictibilidad, los registros del clima del pasado y las anomalías observadas actualmente, las proyecciones del nivel del mar y del clima futuros y la cronología de los cambios. Los informes determinarán el alcance de las proyecciones y sus variaciones regionales, las lagunas y las incertidumbres. El grupo de trabajo también deberá estudiar las estrategias para rellenar las lagunas de conocimientos y reducir las incertidumbres. En la preparación de los informes deberá incluirse un análisis muy meticuloso.

El grupo de trabajo sobre los impactos deberá analizar de forma integrada los impactos socioeconómicos y sobre el medio ambiente del cambio climático. Deberá poner énfasis, entre otros temas, en la evaluación a escala regional y nacional de los impactos de un clima más cálido y de la elevación del nivel del mar (este último, especialmente en lo referente a las zonas costeras y a las islas), sobre la agricultura, la silvicultura, la salud, los recursos hídricos, las inundaciones, las sequías, la desertificación, la energía y otros sectores. El grupo de trabajo deberá considerar también los impactos de una gama de climas en continuo cambio. Los informes deben ser analizados meticulosamente.

El grupo de trabajo sobre la política a seguir deberá estudiar, entre otros temas, las predicciones y las valoraciones de las emisiones futuras de los gases que producen efecto invernadero, las influencias de la evolución de la tecnología, los manantiales y sumideros, la adaptación al cambio climático, las estrategias para controlar o reducir las emisiones y las otras actividades humanas que pueden producir impacto sobre el clima (por ejemplo, la deforestación y los cambios en la utilización de las tierras), conjuntamente con sus implicaciones sociales y económicas y los aspectos legales.

Ni los presupuestos actuales de la OMM ni los del PNUMA proporcionan ayuda, económica al IPCC y por ello se decidió crear un Fondo de créditos en depósito del IPCC, al menos como medida provisional. Varios países ofrecieron su contribución; en su día se comunicará la magnitud de esas ayudas. El grupo llegó al acuerdo de que sería vital que los países en desarrollo participasen en todas sus actividades y pidió un apoyo adicional para este fin.

El grupo de trabajo sobre la ciencia se reunió cerca de Oxford (Reino Unido), del 24 al 26 de enero de 1989, mientras que los otros dos grupos se reunieron ambos, del 30 de enero al 1 de febrero de 1989, pero separadamente, el que trata sobre los impactos lo hará en Moscú y el dedicado a la política a seguir, en Washington, D.C. La Directiva se reunió en Ginebra los días 6 y 7 de febrero para estudiar los informes de los grupos de trabajo; el grupo celebrará su segunda reunión en Nairobi, del 28 a 30 de junio de 1989.

## **EL IMPACTO DE LAS VARIACIONES CLIMATICAS EN LA AGRICULTURA**

El artículo siguiente es el resumen oficial del trabajo en dos volúmenes editado por Martin PARRY, Timothy CARTER y Nicolaas KONIJN y publicado por Kluwer Academic Publishers en nombre del IIASA y el PNUMA\*. Es el resultado de un estudio de investigación de cinco años.

---

\* Kluwer Academic Publishers Group, P.O. Box 989, 3300 AZ. Dordrecht, Holanda. Precios: *Cubierta rígida*: Volumen 1, 220 florines holandeses; Volumen 2, 200 florines holandeses. *En rústica*: Volumen 1, 95 florines holandeses; Volumen 2, 85 florines holandeses.

## Introducción

Este resumen informa de algunos de los resultados y conclusiones sustanciales de un proyecto internacional de investigación sobre los efectos de las variaciones climáticas en la agricultura concluido recientemente. El proyecto, que se realizó de 1983 a 1987, estaba basado en el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA) y fue financiado conjuntamente por el IIASA y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como una parte del Programa Mundial de Estudios de Impacto del Clima (PMEIC).

El estudio refleja la preocupación de que el aumento de las concentraciones del anhídrido carbónico y de otros gases radiativamente activos de la atmósfera puedan producir un efecto a largo plazo sobre el clima de la Tierra, lo que podría acarrear graves consecuencias para la agricultura potencial de distintas regiones del mundo. Asimismo, se reconoció que las anomalías a corto plazo del clima (tales como las sequías y las tormentas tropicales) siguen causando graves trastornos a las economías y a las poblaciones en todo el mundo, pero de una forma que todavía se conoce poco.

El propósito del estudio fue doble: primero, investigar los efectos de los cambios y de la variabilidad climática en la agricultura; segundo, evaluar las respuestas alternativas a dichos efectos. Para alcanzar estos objetivos, dentro de un contexto de investigación manejable, el proyecto se concentró en los estudios de un cierto número de casos regionales. Estos se dividieron en dos grupos: estudios en las regiones templadas frescas y en las frías (donde la temperatura ejerce una limitación importante sobre la agricultura) y estudios en las regiones semiáridas (donde la falta de humedad es una restricción dominante).

## ESTIMACIONES EN LAS REGIONES TEMPLADAS FRESCAS Y EN LAS FRIAS (Volumen 1)

### Métodos de análisis

Los últimos 15 años han presenciado alentadores progresos en el método de estimación del impacto del clima. Hasta mediados de los años setenta, los esfuerzos tendían a centrarse sobre todo en el impacto (dirección única) del clima en las actividades humanas, que se basaba en una hipótesis de relación directa, causa y efecto entre un fenómeno climático y una "unidad de exposición" (por ejemplo, una actividad humana tal como la agricultura). Este es un método adoptado con frecuencia en los modelos de regresión de las relaciones estadísticas ("caja negra") entre el clima y la agricultura, los que raramente conseguían proporcionar una explicación satisfactoria sobre la naturaleza de las relaciones. Esto se evidenció en algunos aspectos del estudio dirigido por la Universidad de la Defensa Nacional de los EE.UU., sobre los posibles efectos del cambio climático, a largo plazo, en el rendimiento de los cultivos y en la producción agrícola, en el cual se resaltaba la búsqueda de conexiones, relativamente sencillas, entre una variación climática y una posible respuesta de los cultivos.

Más recientemente, la atención se ha centrado en buscar una comprensión mejor de las interacciones entre el clima y las actividades humanas, suponiendo que un acontecimiento climático es solamente uno de los muchos procesos (tanto sociales como ambientales en su origen) que pueden afectar a la unidad de exposición.

Pasará algún tiempo antes de que puedan realizarse estimaciones totalmente integradas, debido a que no existe aún la complementación absoluta de los sistemas de modelos ni nuestra pericia para conectarlos entre sí satisfactoriamente. Uno de los resultados más alentadores del proyecto IIASA/PNUMA es su éxito en la incorporación de algunos de los elementos (aunque en ningún caso todos) que son críticos para un método integrado.

### El método IIASA/PNUMA

El método adoptado en el proyecto IIASA/PNUMA intenta una estimación parcialmente integrada, empleando tanto una forma de investigación directa como otra asociada e incluyendo dos tipos de "experimentos" basados en modelos: experimentos de impacto y de ajuste.

### *Un método parcialmente integrado*

Tres elementos del proyecto caracterizan su metodología integrada. Primero, la estimación de los efectos de las variaciones climáticas sobre la agricultura fue realizada utilizando una jerarquía de modelos. A la cabeza de esta jerarquía están los modelos o "escenarios" para las variaciones climáticas. Estos se usaron como entrada de los modelos biofísicos de las relaciones de primer orden (por ejemplo, aquéllas que existen entre ciertas variables climáticas y el suministro o demanda biofísica). Los productos resultantes (por ejemplo, en forma de rendimientos alterados de las cosechas o de probabilidades de producción) eran utilizados como entradas de los modelos económicos de las relaciones de segundo orden a nivel de empresa. Estas consideraban, por ejemplo, los efectos de los cambios en la producción, a nivel de explotación agrícola, sobre los ingresos de dicha explotación. Como último paso, los modelos económicos de las relaciones de orden superior, por ejemplo las existentes entre los beneficios de la explotación y el empleo regional o el producto interior bruto, se emplearon para evaluar los impactos experimentados en otras partes de la región.

Segundo, los efectos de las variaciones climáticas se analizan de acuerdo con sus interacciones con otros sistemas físicos, distinguiendo entre aquéllos en los que los efectos de una variación climática se transmiten a través de otros sistemas físicos (por ejemplo, mediante cambios en la estructura del suelo, sus nutrientes y la erosión del suelo; mediante plagas y enfermedades) y aquéllos en los que los efectos de una variación climática les afectan a través de otras tendencias ambientales concurrentes (tales como la contaminación de las aguas subterráneas y el agotamiento de los nutrientes del suelo).

Tercero, el proyecto considera dos tipos de respuestas a los impactos climáticos: ajustes al nivel empresarial (lo que a nivel de explotación agrícola puede incluir cambios de cultivos, aumento de la irrigación y cambios en los fertilizantes) y respuestas políticas a nivel regional, nacional e internacional.

### *Los escenarios climáticos: las regiones templadas frescas y las frías*

Se exigió que cada caso de estudio considerara los efectos de tres escenarios de variación climática:

- **Un único año de tiempo anómalo**, tomado de los registros instrumentales históricos de la región.
- **Un decenio o un período de años meteorológicos de tiempo extremado**, tomado, asimismo, de los datos históricos.
- **Un cambio del clima a largo plazo**, que podría resultar de una duplicación de la concentración del  $\text{CO}_2$  atmosférico. Los datos para este escenario se dedujeron de las salidas en puntos de rejilla del modelo de la circulación general (MCG) del Instituto Goddard para Estudios del Espacio (GISS). En adelante nos referiremos a él como el "escenario GISS  $2 \times \text{CO}_2$ ". Debe resaltarse que no se consideraron en este estudio los efectos "directos" del aumento del  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre la fotosíntesis de las plantas y sobre la eficacia del uso del agua.

### *Modelos de primer orden*

Además, se adoptó como periodo básico el comprendido entre 1951-1980, en el que pueden compararse los escenarios climáticos y sus efectos estimados. En cada caso de estudio, se utilizaron tres tipos de relaciones de los modelos clima-cosecha para estimar los efectos de primer orden:

- **Índices agroclimáticos**, combinan en un término único aquellas variables meteorológicas que más influyen en el crecimiento de las plantas y la productividad. Estos se usaron en todos los casos de estudio para proporcionar una indicación del potencial agroecológico general de una región.
- **Modelos empírico-estadísticos**, comparan una muestra de los datos del rendimiento de la cosecha anual con los datos del tiempo para el mismo periodo cronológico y zona, utilizando técnicas estadísticas tales como el análisis de regresión. El uso de estos modelos tuvo más éxito en las zonas en que la producción agrícola es muy sensible a una sola variable climática.
- **Modelos de simulación**, estudian las relaciones entre los procesos básicos de las plantas y del crecimiento de los cultivos y los factores ambientales. Estos modelos, debido a su muy firme base fisiológica, fueron particularmente útiles en la realización de experimentos de escenarios, que aportaban estimaciones de los efectos de las condiciones climáticas y que estaban fuera de la gama de condiciones observadas recientemente en una región y para las que no podía normalmente justificarse la extrapolación de las relaciones empírico-estadísticas.

### *Modelos de orden superior*

Los resultados de estos experimentos se usaron como entradas de los modelos de los efectos de segundo orden (en donde podía disponerse de estos modelos). En algunos casos de estudio se dispuso de modelos económicos detallados pero, en otros casos, las respuestas a niveles de explotación agrícola y regionales se ofrecieron de forma no cuantitativa. Se emplearon varios modelos:

- **Modelos de simulación de explotación agrícola**, que consideran los efectos en los rendimientos alterados de las cosechas y la producción de ingresos, compras y beneficios a nivel de explotación agrícola.
- **Modelos de ingresos-producción**, que examinan el impacto de los cambios en la producción agrícola regional en conjunto, tanto para los sectores agrícolas como para los no agrícolas.
- **Modelos de empleo**, que calculan los cambios en los usos agrícolas y no agrícolas como resultado de las variaciones en los niveles de producción para distintos sectores económicos.
- **Modelos de suministros alimenticios**, que estudian el balance probable de suministros y de demanda de productos alimenticios, y las implicaciones para la seguridad alimentaria nacional.
- **Modelos de distribución de tierras**, que se usaron en los casos de estudio de la URSS para evaluar la distribución óptima de distintos cultivos bajo diferentes escenarios climáticos.

### *Experimentos de impacto y ajuste*

Se realizaron dos tipos completos de experimentos. Los experimentos de impacto describen la estimación secuencial, basada en los modelos, de los efectos de las variaciones climáticas en los diferentes niveles de jerarquía, fundamentada, sobre todo, en conjuntos esencialmente estáticos de respuestas agronómicas y económicas. Los experimentos de ajuste implican la alteración de algunas de estas hipótesis evaluando distintas opciones disponibles para compensar o mitigar los efectos, ya sea a nivel de explotación agrícola (por ejemplo, cambio de cultivos) o a los niveles regional o nacional (por ejemplo, un cambio en las subvenciones a las explotaciones agrícolas).

### **Resumen de los efectos posibles**

Los cambios climáticos a largo plazo, discutidos más adelante, representan la diferencia entre el clima determinado por las condiciones durante el periodo 1951-1980 y el equilibrio climático estimado para niveles de  $\text{CO}_2$  atmosférico que fueran el doble de los niveles probables preindustriales, habiéndose deducido las estimaciones del  $\text{mCG}$  atmosférico desarrollado por el GISS- el  $\text{GISS } 2 \times \text{CO}_2$ . Además, los efectos estimados por el escenario  $\text{GISS } 2 \times \text{CO}_2$  se comparan con los efectos provenientes de los extremos actuales del clima, para ayudar a evaluar la magnitud de las posibles consecuencias futuras.

Se han identificado dos tipos completos de efectos: los efectos de primer orden (por ejemplo, las respuestas biofísicas de plantas y animales) y los de orden superior (por ejemplo, los que tienen lugar sobre la producción a nivel de explotación agrícola, sobre el producto regional y sobre el suministro nacional de alimentos). Los epígrafes siguientes resumen algunos efectos que pueden ocurrir, si no hubiera respuestas técnicas o políticas que fueran útiles. A continuación, sigue una discusión sobre el modo en que ciertos recursos pueden mitigar estos efectos.

### *Efectos de primer orden*

*Sobre el rendimiento de los cultivos.*— Los aumentos estimados de la temperatura para un clima  $2 \times \text{CO}_2$  (con un recorrido de 1,5 a 5,5 K) implican una sustancial prolongación de la estación de crecimiento de los cultivos en las latitudes medias y altas. En algunas zonas, los aumentos de las temperaturas serán tan grandes que los cultivos existentes de cosechas tempranas sufrirán la tensión del calor debido a las condiciones alteradas. Sin embargo, en la mayoría de las zonas puede esperarse que condiciones más cálidas den producciones mayores en latitudes más altas. En el norte del Japón, las cosechas mayores se consiguen con más frecuencia durante el mejor (el más cálido) año. En Finlandia las cosechas se han duplicado, aproximadamente, durante el mejor decenio de este siglo. En Islandia estuvieron casi cuatro veces por encima del promedio durante los mejores 10 años desde 1930. Sin embargo, en aquellos lugares en que la precipitación disminuya (o aumente insuficientemente para compensar los ritmos crecientes de la evapotranspiración debidos a las temperaturas más altas), las cosechas pueden verse afectadas adversamente. En Saskatchewan (Canadá), por ejemplo, serán tan bajas como las que puede

esperarse que se recojan de repetirse las condiciones del período de cinco años más seco del registro (los años 1933-1937). En muchas partes del mundo, en particular en los trópicos semiáridos, las cosechas de los principales cereales son muy afectadas por la precipitación. Cambios relativamente pequeños en las lluvias tendrían, bajo esas circunstancias, un impacto sustancial sobre las producciones. Ciertamente, si la precipitación total anual no se alterara (o incluso aumentara), pero su distribución a lo largo del año se alterara de forma adversa, el efecto sobre las cosechas sería también probablemente negativo. Actualmente se conoce poco sobre los cambios probables en el promedio anual de precipitación que se registraría en las latitudes bajas y tampoco se conocen los probables cambios en las configuraciones y duración de la precipitación; estos factores pueden afectar no sólo a la cantidad sino a la calidad de las cosechas. Esto es particularmente cierto para el valor nutritivo de las tierras forrajeras de las zonas semiáridas.

*Sobre la geografía de la agricultura potencial.*— Puede esperarse que los cambios climáticos acarreen una deriva espacial de los cultivos potenciales. Las zonas que, bajo las condiciones climáticas actuales, se juzga son las más adecuadas para un cultivo dado o una combinación de cultivos, o para un nivel específico de explotación, cambiarán de emplazamiento. En su forma más sencilla, este tipo de deriva puede verse como un desplazamiento de los límites de la zona cultivable. En Norteamérica se han investigado las derivas a gran escala del maíz y el trigo, relacionadas con el clima. En los trópicos, donde muchos de los esquemas de zonificación para el uso de la tierra se basan en los valores medios del clima a largo plazo, los cambios en el clima medio se manifestarán en la deriva espacial a largo plazo de las zonas. La amplitud de estas derivas (por ejemplo, la sensibilidad de dichas zonas a los cambios climáticos) tiene aún que ser investigada totalmente. Sin embargo, el trabajo preliminar en Ecuador indica que el potencial agroecológico puede variar sustancialmente bajo una hipótesis de un 10 por ciento de aumento o disminución de la precipitación media anual (un cambio que concuerda bien con la gama de los efectos para la precipitación estimado por los MCG para una duplicación del  $\text{CO}_2$  atmosférico).

*Sobre otros procesos ambientales.*— Se añade una ulterior complejidad debido a los efectos climáticos que pueden tener lugar a la vez sobre otros sistemas físicos, tales como sobre los recursos hídricos mediante cambios en la precipitación en forma de nieve, la fusión de la nieve en primavera y la recarga de los acuíferos; sobre la fertilidad del suelo mediante cambios en los ritmos de lixiviación de los nutrientes que varía con la cantidad de precipitación; sobre el ritmo de la erosión del suelo, que puede ser afectado por los cambios de la aridez del suelo y la velocidad del viento; y sobre la incidencia de las plagas y enfermedades, cuya supervivencia y desarrollo pueden estar influidas en gran manera por la temperatura y la humedad.

#### *Efectos de orden superior*

Los distintos efectos que los cambios climáticos pueden tener sobre las producciones de los cultivos y sobre la capacidad de soporte de los distintos tipos de suelo pueden también influir, mediante una trama de circunstancias reforzantes y contrarrestadoras, en el suministro alimenticio regional, en los ingresos de las explotaciones agrícolas, en las tasas de actividad económica rural y en el empleo rural.

*Sobre la producción regional de alimentos.*— Los cambios en los niveles de cosecha, en la fertilidad del suelo, en el nivel de ingresos agrícolas y en los tipos de gestión afectarían, casi con certeza, a los productos alimenticios agrupados. Hasta ahora, la complejidad en la modelización de esas relaciones indican que sólo se han hecho estimaciones para cultivos individuales de ciertas regiones, no para todos los cultivos. Los resultados muestran que, por ejemplo, en el escenario  $\text{GISS } 2 \times \text{CO}_2$ , la producción total de trigo en Saskatchewan disminuiría en un 18 por ciento y la producción media de arroz en Japón aumentaría en un 5 por ciento. Estas estimaciones suponen (de forma muy poco realista) que las regiones que producen diferentes cultivos quedarán igual, que los tipos de cultivos no cambiarán y que la gestión no se variará. Sin embargo, ellos ofrecen una idea de lo que puede suceder si no hubiera respuesta técnica o política al cambio climático; además, proporcionan un punto de partida para considerar los géneros de respuesta que pueden reducir de forma más eficaz los efectos estimados.

*Sobre los ingresos de las explotaciones agrícolas.*— La amplitud de estos efectos dependería, además, de lo que los cambios produjeran sobre los ingresos de las explotaciones agrícolas competitivas y sobre los costes de los consumos. No es fácil predecir la dirección del movimiento de los ingresos, incluso cuando se conocen los cambios en las cosechas. En casos de impactos a corto plazo (tales como los de la sequía de 1979-1980 en el nordeste de Brasil), el precio de los productos alimenticios puede aumentar (en este caso del 90 al 100 por cien), mientras que los ingresos y los fondos de los pequeños terratenientes se reducen.

*Sobre la economía regional.*— Los cambios en los ingresos de las explotaciones agrícolas pueden afectar con frecuencia a la compra de bienes manufacturados y en consecuencia a las tasas de actividad de los sectores no agrícolas. Por ejemplo, en el nordeste de Brasil las compras de ropa, calzado y alimentos preparados bajaron casi

un tercio durante 1983 (a continuación de una sequía de dos años), como consecuencia de un aumento en los gastos domésticos rurales debido a los alimentos esenciales. Asimismo, los cambios en las producciones regionales pueden tener marcados efectos en los ingresos regionales. Por ejemplo, en algunas regiones de Australia (donde los productos agrícolas representan el 30 por ciento de la productividad total regional), un descenso en la producción agrícola del 10 por ciento, relacionado con la sequía, puede reducir la productividad regional en un 3 por ciento y los ingresos regionales en un 10 por ciento.

*Sobre el empleo rural.*— Es posible estimar los efectos de “golpeo” de la agricultura sobre otros sectores mediante la simulación de los intercambios entre la agricultura y otros sectores en un modelo de ingresos-producción. El único estudio de cambio climático a largo plazo que ha seguido, hasta la fecha, este método se ha hecho en Saskatchewan. Este indica que las reducciones en las cosechas de trigo de primavera (debido fundamentalmente a un aumento en la falta de humedad bajo el clima GISS 2 × CO<sub>2</sub>) harían descender el poder adquisitivo total del sector agrícola de Saskatchewan en un 3 por ciento. También, se pueden experimentar consecuencias en otros sectores de la economía con un aumento estimado de desempleo del 0,5 por ciento.

### Posibles respuestas técnicas

Las respuestas bosquejadas más adelante se limitan a aquéllas en que la tecnología puede ser ejecutada en este momento. Por supuesto, son probables cambios sustanciales en la tecnología (y en los factores que afectarían a su utilización, tales como cambios en la demanda y en los precios), pero éstos son difíciles de especificar para las escalas cronológicas sugeridas para los cambios del clima inducidos por los gases invernadero.

#### *Cambio en las variedades de los cultivos*

*Cambio hacia variedades de cultivos con requerimientos térmicos altos.*— Hay firmes indicaciones de que uno de los aspectos más marcados de los cambios climáticos a largo plazo, debidos a aumentos en los gases invernadero, será el aumento de las temperaturas (tanto estacionales como anuales) en las latitudes medias y altas. En muchas regiones en que el calor durante la estación de crecimiento es el principal constreñimiento para las cosechas de los cultivos, es probable que signifique un aumento en la producción. Sin embargo, muchas de las variedades de maduración temprana que crecen ahora en las regiones frescas acabarían sacando provecho de estaciones de crecimiento más largas y cálidas. En el norte del Japón, por ejemplo, las cosechas de las variedades corrientes de arroz aumentarían probablemente en un 4 por ciento, con un aumento del 35 por ciento en los grados-día de crecimiento estimados para el escenario GISS 2 × CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la sustitución de arroz de maduración tardía (en la actualidad, crece en la zona central del Japón), puede tener aumentos de las cosechas del 26 por ciento. Aumentos similares se han estimado para las cosechas de trigo de primavera en Finlandia y la URSS. En cada caso sólo pueden obtenerse beneficios limitados mediante el mantenimiento de las variedades actuales, mientras que se estiman beneficios sustanciales para variedades con necesidades térmicas mayores.

*Cambio de las variedades de primavera a las de invierno.*— El aumento de las temperaturas en algunas zonas de las latitudes medias y altas puede elevar los ritmos de evapotranspiración con tal amplitud que, si no hay compensación adicional por la precipitación, puede acarrear una frecuencia en aumento de la escasez de humedad a principios del período de crecimiento. Este es el caso de las praderas canadienses bajo el escenario GISS 2 × CO<sub>2</sub>. Los cultivos de trigo de siembra primaveral (que en la actualidad son el cultivo predominante en la región) pueden ser fuertemente presionados bajo estas condiciones, pero los cultivos de siembra invernal (que suelen estar bien instalados en mayo o junio) serán menos propensos a los daños. De hecho, se ha puesto en evidencia en los últimos 10 años un cambio del trigo de siembra primaveral al de siembra invernal en las praderas del sur de Canadá. Una aceleración de esta tendencia puede ser una respuesta eficaz a posibles estaciones de crecimiento más cálidas en el futuro.

*Cambio a variedades de cultivos que ofrezcan cosechas menos variables.*— Los cambios a largo plazo de la temperatura y la precipitación pueden tener un fuerte efecto sobre la variabilidad de las cosechas. Los calentamientos a largo plazo en las latitudes altas pueden reducir la variabilidad interanual de las cosechas de los cultivos (por ejemplo, reduciendo la frecuencia de los daños debidos a veranos fríos). Una reducción a largo plazo en la precipitación (que es una posibilidad en las regiones centrales de los continentes de las latitudes medias del hemisferio norte) puede aumentar la frecuencia en la pérdida de cosechas debidas a las sequías. Una elección cuidadosa de las variedades puede obtener los beneficios de reducir los extremos o servir para reducir las pérdidas debidas a unos extremos ampliados. En Japón, por ejemplo, una juiciosa selección de cultivos conseguiría equilibrar los continuos (aunque reducidos) riesgos de daños provocados por un verano frío a las variedades de maduración tardía, frente al riesgo en aumento de tener malas cosechas provocadas por veranos inusualmente cálidos para las variedades de maduración temprana. Esta es una antigua estrategia en agricultura: consiste sim-

plemente en que los cambios en la distribución de frecuencias de los diferentes tipos de años meteorológicos demandarán una reconsideración de la mejor mezcla de cultivos y de las estrategias de producción para una región en particular.

Aunque en la actualidad no podemos hacer ningunas predicciones útiles sobre los probables cambios a largo plazo en la ubicación, cantidad y distribución estacional de la precipitación en las zonas semiáridas de las latitudes bajas, es probable que algunas regiones **deban** experimentar cambios en la precipitación. Esto confirma el caso de una revalorización del entusiasmo reciente por los cultivos muy productivos y la producción de cosechas, lo que ha disuadido sobre ciertas formas de sistemas de producción diversificados, flexibles y con un bajo riesgo que con frecuencia caracterizaban la agricultura tradicional y proporcionaban cierta capacidad de adaptación a la sequía.

#### *Cambios en los fertilizantes, la irrigación y el drenaje*

*Aplicación de fertilizantes.*— Puede lograrse cierta estabilidad en la producción de los cultivos mediante aplicaciones variadas de fertilizantes para compensar las anomalías del clima. En la actualidad, la eficacia de esta estrategia está muy limitada por la falta de predicciones meteorológicas estacionales precisas. Sin embargo, está siendo probada por el Gobierno de Islandia, donde grandes aplicaciones de fertilizantes en los veranos frescos pueden mantener la producción de heno por encima del mínimo necesario para alimentar a la ganadería de la isla y donde pequeñas aplicaciones en veranos cálidos pueden reducir los costes y ayudar a evitar el abastecimiento excesivo. Las variaciones de la aplicación de los fertilizantes puede ser también una respuesta técnica adecuada a los cambios climáticos a largo plazo. Los experimentos de Islandia indican que pueden obtenerse ahorros superiores al 50 por ciento en un clima más cálido simulado por las condiciones  $2 \times \text{CO}_2$ . En aquellos lugares en que los cambios climáticos a largo plazo sean menos claramente beneficiosos, es posible que el uso creciente de fertilizantes pueda compensar durante largo tiempo los descensos en las cosechas, por ejemplo, los experimentos indican que las cosechas de centeno de invierno en la zona de Leningrado de la URSS pueden descender en más de un 25 por ciento en condiciones más cálidas que el clima  $2 \times \text{CO}_2$ , pero pueden aumentar en cerca de un 15 por ciento **por encima** de los niveles actuales si aumentaran en un 50 por ciento las aplicaciones de fertilizantes.

*Irrigación.*— Si fueran a producirse derivas a gran escala en las configuraciones de la precipitación, en particular en los trópicos semiáridos, entonces son posibles dos grandes respuestas: (a) grandes derivas espaciales de las actividades de las explotaciones agrícolas (que deben ser discutidas), y (b) transferencias de agua a gran escala intercronológicas o interregionales. Los trabajos de irrigación protectora de gran amplitud de este tipo fueron los soportes básicos de la política contra la sequía en muchos de los trópicos semiáridos algo después de 1950, aunque más recientemente el énfasis ha cambiado hacia los desarrollos a más pequeña escala, tales como la construcción generalizada de albercas o excavaciones en las explotaciones agrícolas. Las respuestas a la transferencia del agua se consideran como un refuerzo de la capacidad de adaptación a nivel de explotación agrícola respecto a la sequía, cuando se utiliza en adecuada combinación con cultivos resistentes a la sequía y sistemas de gestión de cultivos. Las transferencias de agua a gran escala, tales como las que tuvieron lugar en el Nilo en los años 60 y 70, requieren largo tiempo de dirección en la planificación y la construcción y pueden tener una creciente vulnerabilidad a la escasez de agua a largo plazo. Dada la actual incertidumbre extrema respecto a las precipitaciones tropicales en un mundo con alto  $\text{CO}_2$ , los planes para nuevos esquemas de irrigación a gran escala no parecen una respuesta adecuada.

*Drenaje del terreno.*— El aumento de la precipitación en algunas zonas puede conducir a una creciente incidencia del encharcamiento, con las consiguientes pérdidas en la producción de los cultivos y, también, en un ritmo creciente de la erosión del terreno. En estos casos parece merecer la pena probar la mejora del drenaje del terreno. Esto sería especialmente importante como un medio de repartir los contaminantes de nitratos más eficazmente, si aumentaran los niveles de aplicación de fertilizantes.

#### *Cambios en la gestión de los cultivos*

Todos los agricultores adoptan estrategias para mitigar los efectos del tiempo adverso que puede ocurrir como parte del clima actual, aunque estas estrategias varían considerablemente en su grado de complejidad. Muchos de los esfuerzos del desarrollo agrícola en los años recientes se han dedicado a refinar dichas estrategias, especialmente sintonizándolas para acomodarse a las condiciones climáticas locales. Una respuesta adecuada mediante la gestión de cultivos respecto a los cambios del clima a largo plazo implicaría retocar alguna o todas las estrategias para armonizarlas con el nuevo conjunto de condiciones climáticas. La escasez de conocimientos so-

bre los detalles de estas condiciones hacen casi imposible especular útilmente sobre los tipos de respuestas necesarias, pero es muy probable que pudieran incluir cambios en:

- la zona cultivada;
- la ubicación de los cultivos;
- la extensión entre cultivos;
- la densidad de plantación;
- el uso de cultivos con diferentes necesidades de humedad y calor;
- el uso de cultivos de corta duración frente a cultivos de larga duración;
- las fechas de siembra;
- el uso de los barbechos;
- la cantidad de labranza y estiércol para limitar la erosión;
- la cantidad de fertilizantes aplicados;
- la cantidad y programación de las irrigaciones.

#### *Cambios en el nivel de gastos de las explotaciones agrícolas .*

Ya que crecen diferentes cultivos en la misma región que probablemente responderán de forma diferente a un cambio determinado del clima, se producirán probablemente cambios sustanciales con ventajas de un cultivo en comparación con otro. Algunos cultivos y mezclas de cultivos serán más provechosos y otros menos. Además, los cambios en los gastos de las explotaciones agrícolas probablemente reflejarían esto, aumentando en aquellas zonas y para aquellos tipos de explotación donde aumentara la rentabilidad y viceversa. Para ilustrarlo: en un análisis que incluye un arbitrario aumento de un grado Kelvin en las cercanías de Moscú y una inversión adicional de 30 millones de rublos incrementaría la producción de grano en un 14 por ciento y reduciría el coste medio por tonelada de producción del 88 al 83 por ciento del coste básico (actual). Bajo este escenario, pueden esperarse aumentos sustanciales en la inversión agrícola.

#### **Respuestas posibles de política regional y nacional**

Además de la aplicación de tecnología, deberían considerarse algunas aplicaciones de las respuestas políticas posibles.

#### *Cambios en la distribución del uso de la tierra*

Si los cambios del clima a largo plazo incluyeran una deriva general de los límites de los tipos climáticos actuales (un tema sobre el que hay cierto acuerdo entre los diferentes MCG), entonces pueden esperarse razonablemente algunas derivas resultantes en la distribución de la tierra para uso agrícola. Sin embargo, es improbable que las configuraciones geográficas actuales de la agricultura se distribuyeran automáticamente de forma sencilla para ajustarse a la nueva geografía del clima. Más adelante se considera esto con más detalle.

*Cambios del uso de la tierra para optimizar la producción.*— Como los diferentes cultivos responden de forma diferente a los cambios del clima y a las diferentes cantidades de fertilizantes aplicados con dichos climas, cualquier intento de maximizar la producción de cada cultivo, mientras que se minimizan los costes de producción, es probable que identifique distribuciones de la tierra completamente diferentes para cultivos alternativos con diferentes climas. Por ejemplo, si el clima fuera a ser en promedio un grado Kelvin más cálido en la zona de Moscú, el área de trigo de invierno, maíz y vegetales se ampliaría, bajo un uso “óptimo” de la tierra, mientras que el área de los cultivos de la zona templada septentrional, tales como la cebada de siembra primaveral, la avena y las patatas, se reduciría. Esta configuración comienza a parecerse al uso actual de la tierra en zonas que se encuentran más al sur, en el norte de Ucrania, e indica el valor de utilizar analogías regionales para identificar posibles respuestas al cambio climático. Si aceptamos, por ejemplo, que la agricultura está, en la mayoría de las regiones del mundo, estrechamente sintonizada con el clima de hoy, los tipos de explotación agrícola actuales son un indicador de un sistema (incluyendo tipos de cultivos, cosechas esperadas, niveles óptimos de fertilización) que opera eficazmente en esos climas. El que ese sistema sea el óptimo para las condiciones climáticas sería un tema para una investigación ulterior. No obstante, mediante una cartografía de las analogías actuales de un clima  $2 \times \text{CO}_2$  por ejemplo, puede conseguirse cierta comprensión de la gama de ajustes que pueden necesitarse para adaptar los nuevos usos de la tierra al nuevo clima. El clima de Finlandia se estima llegará a ser similar al del norte de Alemania, el del sur de Saskatchewan al del norte de Nebraska, el de la región de Leningrado al del oeste de Ucrania, el de la zona central de los montes Urales (región de Cherdyn) al del sur de la zona central de Noruega, el de Hokkaido, en el norte del Japón, al del norte de Honshu y el de Islandia al del nordeste de Escocia. Siguiendo este método podemos esperar, adoptando la analogía Islandia-Escocia, cosechas

de heno en Islandia aumentadas en casi un 50 por ciento para adaptarnos a los niveles que son hoy más típicos en el nordeste de Escocia. Los experimentos con modelos tienden a confirmar esta conclusión. Sin embargo, las pérdidas por plagas y enfermedades, limitadas actualmente a los inviernos fríos de Islandia, pueden aumentar al nivel de 10 al 15 por ciento respecto al que ahora padecen los agricultores escoceses. Por lo que se refiere a los cambios en el uso de la tierra, el heno, las patatas y los nabos son los únicos cultivos que crecen de forma generalizada al aire libre en Islandia y las ovejas forman la ganadería dominante; sin embargo, en el nordeste de Escocia, la cebada (alimento para ganado vacuno estabulado) es el principal cultivo productivo. Entonces, ¿son las indicaciones de que Islandia verá una deriva de la explotación de las ovejas a la crianza y engorde de ganado vacuno? Y, ¿superará la región de Leningrado a la de Ucrania como el granero de trigo de la URSS? Nada es probablemente tan sencillo, pero las indicaciones muestran que la amplitud de los cambios del uso de la tierra pueden ser sustanciales.

*Cambio del uso de la tierra para estabilizar la producción.*— Se pueden realizar algunos cambios del uso de la tierra, no para obtener mayores cosechas, sino para estabilizar la producción. Esta estrategia tratará de asignar la tierra para su uso de un modo que se reduzca el riesgo de fuertes pérdidas debidas a las variaciones climáticas a corto y largo plazo, tanto mediante la minimización de la variabilidad como mediante el esfuerzo para conseguir el mejor retorno posible bajo las peores condiciones posibles. En algunas regiones, especialmente en el pasado decenio, puede atribuirse una mayor variabilidad de las cosechas al uso de terreno de baja calidad para el cultivo. En los años de tiempo medio esta tierra produce una cosecha media, pero bajo condiciones adversas pueden ser muy bajas, más bajas que las de las tierras arables de calidad media. Si esta tierra de cultivo marginal fuera eliminada de la producción y reconvertida en tierra de otro tipo, la variabilidad interanual de los ingresos agrícolas puede reducirse con sólo una pequeña pérdida respecto a la producción total, cuando ésta se promedia a lo largo de muchos años.

#### *Cambio de política para mantener la seguridad alimentaria*

Estaciones de crecimiento más cálidas y más largas en las latitudes medias y altas conducirían, *ceteribus paribus*, generalmente a cosechas mayores. Debido a que muchos países de estas regiones mantienen políticas de subvención a los precios para fomentar la producción nacional, con frecuencia con precios muy por encima de los del mercado mundial, serán necesarios cambios radicales en las políticas para evitar el exceso de abastecimiento. Basándose en algunos estudios regionales preliminares que se han completado, parece que éste será con certeza el caso de los países nórdicos, en la mitad septentrional de la Comunidad Económica Europea, en la franja central de la zona europea de la URSS y en el Japón. En Europa, en particular, es razonable enfrentarse con un creciente problema de exceso de abastecimiento y la necesidad de introducir futuros programas de supresión para dejar sin producción algunas tierras cultivables.

En regiones en que la humedad es, antes que la temperatura, la primordial restricción climática para la producción (y esto comprende a la gran mayoría de las explotaciones agrícolas del mundo), simplemente nos falta información suficiente, en la actualidad, para indicar si el suministro de alimentos al nivel nacional tenderá a aumentar o a disminuir como resultado del cambio climático. En gran parte dependerá de que los cambios tengan lugar en las configuraciones regionales y estacionales de la precipitación, algo sobre lo que conocemos poco actualmente. Sin embargo, las políticas alimentarias nacionales (si se diseñan para mantener los niveles mínimos estratégicos de suministro o se crean para limitar la superproducción) necesitarán ser claramente sensibles a los cambios del clima, tanto (a la baja) para evitar la escasez en la alimentación nacional y los fuertes gastos potenciales en moneda extranjera para importar alimentos, o (al alza) para soslayar los gastos innecesarios en apoyo a los alimentos y al almacenaje y venta.

#### *Cambio de las políticas de ayuda a los gastos de la gestión agrícola*

Las políticas nacionales para las explotaciones agrícolas que pretenden aumentar la capacidad de reacción a la variabilidad climática a corto plazo (por ejemplo, las sequías, las inundaciones o los periodos fríos) mejorarán a menudo, de forma accidental, la capacidad de reacción a los posibles cambios del clima a largo plazo. Sin embargo, estas políticas pueden requerir ajustes para fomentar tipos específicos de gestión de las explotaciones agrícolas y diferentes niveles de gastos para ajustar los cambios inducidos climáticamente en la agricultura potencial. Por ejemplo, puede necesitarse más apoyo en los tradicionales campos de trabajo agrícola extensivo, tales como la gestión del agua (por ejemplo, mejorando la eficacia en el uso del agua), en la gestión de la tierra (por ejemplo, instituyendo nuevas prácticas de gestión del suelo para mejorar el control de la erosión del terreno) y el control de plagas (por ejemplo, adoptando nuevas variedades de cultivos y prácticas de cultivo para suprimir las plagas y enfermedades). Serían necesarios, como se hace hoy, esfuerzos continuados en la reorganización de la estructura de las explotaciones agrícolas y la infraestructura rural (tales como las mejoras en los

sistemas de transporte, la comercialización y los créditos), para proporcionar un ambiente económico adecuado para la introducción eficaz de las nuevas tecnologías.

### Responder con más información

Aunque es importante que la consideración de las opciones políticas debiera hacerse ahora, a pesar de la información inadecuada sobre el futuro, es ciertamente evidente que más información, en particular, en algunos temas específicos, ayudaría a identificar la gama completa de las respuestas potencialmente útiles y a determinar cuáles de esas pueden ser más valiosas.

Para resumir las prioridades respecto a la investigación futura, se distinguen tres clases de impactos: (a) impactos biofísicos en cada planta individual y al nivel animal; (b) impactos al nivel de explotación agrícola o pueblo; y (c) impactos sobre la región o nación. Además, en los puntos siguientes se especifican los temas que merecen una mayor atención:

- Se requiere más información sobre la naturaleza de los cambios del clima; su configuración espacial (en particular la de la precipitación), su configuración estacional (de nuevo, particularmente para la precipitación) y su ritmo de cambio como respuesta a los factores de forzamiento, tales como las emisiones de CO<sub>2</sub> y la destrucción del ozono (lo que facilitaría la consideración de los ritmos necesarios de adaptación, incluyendo el desarrollo o sustitución de nuevas variedades de cultivos) y la variabilidad climática así como las condiciones medias.
- Se necesita una mejor comprensión de los efectos de los cambios del clima sobre otros procesos físicos (por ejemplo, sobre los ritmos de erosión del suelo y la salinización, sobre la lixiviación de los nutrientes del suelo y sobre las plagas y enfermedades y sus vectores).
- Es necesario mejorar el conocimiento de los efectos de los cambios del clima sobre las cosechas de los cultivos en diferentes regiones y bajo distintos tipos de gestión (hasta la fecha, se han completado algo menos de una docena de estudios regionales y son insuficientes como base para hacer una generalización de los efectos sobre la producción de alimentos a escala regional o mundial).
- Se requiere enorme pericia para “graduar” nuestra comprensión de los efectos sobre los cultivos, la producción de las explotaciones agrícolas, la producción rural local y el suministro nacional de alimentos. Esto es de particular importancia, ya que las políticas deben diseñarse para responder a los impactos a nivel nacional.
- Es necesaria una mejor comprensión de la percepción (real o potencial) de los impactos que se derivan del cambio climático, en particular de la percepción del riesgo y cómo puede utilizarse esto para evaluar políticas alternativas que busquen la reducción de los niveles de riesgo.
- Se necesita más información sobre la gama de ajustes técnicos potencialmente eficaces a nivel de explotación agrícola y de pueblo (por ejemplo, la irrigación, la selección de cultivos o de fertilizantes).
- Se requiere más información sobre la gama de respuestas políticas potencialmente eficaces a los niveles regional, nacional e internacional (por ejemplo, la redistribución del uso de la tierra, la producción de plantas, los esquemas mejorados de la extensión agrícola o las transferencias de agua a gran escala).

## ESTIMACIONES EN LAS REGIONES SEMIARIDAS (Volumen 2)

### Introducción

En 1982 y 1983 ocurrió el episodio más intenso de *El Niño* que se ha registrado. En el nordeste de Brasil el producto total bruto de la agricultura, en 1983, fue casi del 16 por ciento por debajo de lo normal. En esta región proclive a la sequía, 1983 fue el quinto año consecutivo de precipitación por debajo de la media, lo que contribuyó al progresivo empeoramiento de las condiciones de vida para casi 12 millones de *Nordestinos*. Aunque el Gobierno de Brasil gastó el equivalente a 1778 millones de \$ EE.UU. en programas de emergencia durante 1979-1983, ayudando a unas 2,5 millones de personas mediante empleo en las obras públicas, hubo pri-

vaciones generales y una generalizada migración desde las granjas a los pueblos de la región y de fuera de la región.

También en 1983 hubo inundaciones generalizadas en Ecuador y Perú, persistentes sequías en el sur y este de África y en el norte de la zona central de la India y extensos fuegos de monte bajo en Australia. La producción de trigo en Australia, durante 1982/83, fue sólo del 63 por ciento del promedio de los cinco años anteriores y hubiera sido incluso más baja de haber compartido Australia occidental las condiciones de sequía de los estados del este. En la franja cerealista de los EE.UU., precipitaciones anormalmente bajas redujeron las cosechas de maíz en el 29 por ciento (en relación con 1982) y esto, unido a la reducida plantación debida a la política gubernamental, condujo a un descenso en la producción total de maíz en los EE.UU. de un 50 por ciento.

Sólo algunos de estos episodios a corto plazo han sido conectados con el fenómeno *El Niño*/Oscilación del sur, una fluctuación periódica en la intensidad de la circulación atmosférica intertropical y oceánica (Oscilación del sur), que normalmente coincide con un calentamiento anómalo de la zona tropical oriental del Océano Pacífico (*El Niño*). En todos los casos, sin embargo, podían causar sustanciales reducciones en la productividad, grandes descensos acumulados de la producción y en casos extremos (pero no infrecuentes) miseria y muerte.

A largo plazo es probable que los cambios en el clima serán consecuencia de las concentraciones crecientes de  $\text{CO}_2$  y de otros gases radiativamente activos de la atmósfera. Las evaluaciones actuales estiman que aumentos de la temperatura media anual mundial entre 1,5 y 5,5 K es probable que se produzcan como resultado de los aumentos del  $\text{CO}_2$ , probablemente entre los años 2050 y 2100. Dichos cambios es probable que afecten a la frecuencia de episodios extremos a corto plazo, por ejemplo, mediante cambios en el régimen de precipitaciones de algunas zonas semiáridas.

Así, las variaciones del clima a corto y largo plazo continuarán, probablemente, siendo importantes factores que afectarán a la agricultura en el futuro. El presente tomo es el segundo de los dos referentes a la estimación de dichos efectos y a la evaluación de las respuestas apropiadas para ellos.

### *Objetivos*

En primer lugar, este tomo considera el alcance de los efectos que las variaciones del clima a corto plazo pueden tener sobre la agricultura de las regiones semiáridas del mundo y, en segundo lugar, el alcance de los ajustes disponibles para mitigar o sacar provecho de estos efectos. El núcleo fundamental del libro trata sobre de seis casos de estudio de los efectos sobre la agricultura en diferentes regiones semiáridas.

Se concentra, casi exclusivamente, sobre los impactos de las variaciones climáticas a **corto plazo**, especialmente las sequías, mientras que en el Volumen 1 se ponía más énfasis en los efectos de los probables cambios climáticos a largo plazo inducidos por el  $\text{CO}_2$ . Hay dos razones fundamentales para este contraste en el énfasis:

- En los países menos desarrollados, especialmente los de las regiones semiáridas, las consecuencias económicas de extremos climáticos son, en general, más graves que en las regiones templadas frescas y en las frías, en donde los sistemas agrícolas altamente desarrollados tienen mayor capacidad para soportar estos episodios. El problema de la variabilidad climática a corto plazo, que es primordial y apremiante en estas regiones, figura, por tanto, de manera más importante en el debate político que el problema del cambio climático a largo plazo.
- En las latitudes más bajas, donde se hallan localizados la mayoría de los casos de estudio de las regiones semiáridas que aparecen en este tomo, las proyecciones del clima futuro, basadas en los MCG, sugieren que los cambios en la temperatura del aire producidos por concentraciones crecientes del  $\text{CO}_2$  atmosférico serán, probablemente, mucho menos importantes que los que se producirán en las latitudes medias y altas. Por otra parte, la incertidumbre inherente a las estimaciones basadas en los MCG de la precipitación regional a largo plazo (de evidente importancia para las regiones semiáridas) es mucho mayor que la asociada a los cambios de la temperatura del aire. Estas dos características de los productos de los MCG fueron las razones para no incluir en este estudio un escenario basado en estos modelos para los MCG para los cambios climáticos a largo plazo.

*Regiones semiáridas.*— La vulnerabilidad a la sequía es sintomática de ciertos sistemas agrícolas de estas regiones, en las que la principal causa de destrucción del sistema es el alto grado de la sensibilidad a la variabilidad climática actual. Los casos de estudio fueron realizados en: (a) la Sierra central de Ecuador, (b) el nordeste de Brasil, (c) las zonas central y oriental de Kenya, (d) la zona tropical seca de la India, (e) las regiones de Stavropol y Saratov en el sur de la zona europea de la URSS, y (f) la franja cerealista de Australia. Un equipo de entre cuatro y siete científicos y asesores políticos realizaron los experimentos y enviaron los resultados. Los equipos se reunieron en el IIASA al comienzo del proyecto para establecer los objetivos comunes, acordar los escenarios climáticos y los métodos de estimación del impacto, así como para determinar los productos propuestos. Después volvieron a sus regiones de origen, para completar la investigación, de la que se informó mediante un boletín durante una segunda reunión en el IIASA. En esa reunión se discutieron las omisiones, los solapes y los errores, y los resultados se remitieron al IIASA para su análisis externo y su consiguiente revisión.

*Desarrollo de los escenarios climáticos.*— Se eligieron tres amplios tipos de escenarios climáticos como un marco común para los experimentos en los casos de estudio, basándose cada uno en los registros históricos climáticos instrumentales de:

- **Un solo episodio de sequía extrema.**— En la mayoría de los casos de estudio se seleccionó un episodio extremado reciente, de modo que los efectos observados pudieran ser comparados con aquellos estimados por los modelos de impacto. En algunos estudios también se examinaron episodios extremados de precipitaciones fuertes.
- **Un episodio de sequía con un período de retorno de un año sobre diez.**— Se seleccionó esto para representar episodios que no son los más extremos, pero tienen una frecuencia y magnitud que requieren una adaptación de los sistemas de explotación agrícola. El método de cálculo de este escenario se describe más adelante; en algunos casos de estudio también se incluyeron uno de entre diez episodios de lluvias fuertes.
- **Una sequía "repetida".**— Caracterizada por dos (o más) años sucesivos anormalmente secos. Se seleccionó esto para permitir la investigación de los efectos acumulativos de los extremos consecutivos, que pueden ser mucho más acentuados que los de los episodios individuales.

## Resumen de los efectos posibles

### *Efectos de primer orden sobre la agricultura: largo plazo*

En este tomo se han investigado los efectos sobre las cosechas medias de los cultivos para tres tipos de cambio climático a largo plazo: (a) escenarios sintéticos que comprenden cambios sistemáticos arbitrarios en el clima medio, (b) estimaciones de los cambios climáticos futuros inducidos por el  $\text{CO}_2$ , y (c) cambios en la frecuencia de los diferentes tipos de tiempo. A continuación se resumen los resultados:

- Las cosechas de sorgo en la estación lluviosa de la India y las de trigo de primavera en la región de Saratov (URSS) mostraban una relación negativa respecto a la temperatura de la estación de crecimiento. En ambos casos, esto es debido a que las temperaturas más altas están asociadas con intensificaciones de la evapotranspiración y por consiguiente la creciente falta de agua produce reducciones en las cosechas. En contraste, las cosechas de sorgo de la estación posterior a la de las lluvias se correlacionan positivamente con la temperatura. En este caso, las altas temperaturas, que hacen disminuir la duración del período de crecimiento, dejarían a los cultivos expuestos a la tensión de la sequía durante un período muy corto, aumentando así las cosechas.
- Las cosechas de sorgo son también sensibles a los cambios en la radiación solar. En la estación lluviosa, que está caracterizada por ser muy nubosa, la radiación inferior al promedio conduce a disminuir las cosechas. Sin embargo, en la estación posterior a la de las lluvias el efecto decisivo del aumento de la radiación es un aumento de las pérdidas por evapotranspiración, lo que va en detrimento de las cosechas de los cultivos.
- La sensibilidad de las cosechas de guisantes forrajeros a los cambios en la precipitación en el nordeste de Brasil es mayor en un lugar seco (Solenade) que en un lugar más húmedo (Icól). Estos resultados, así como los del trigo de primavera de la región de Saratov (URSS), indican también la relación positiva, esencialmente lineal, entre la precipitación media y las cosechas de los cultivos, un hallazgo similar a las explicadas para la cosecha de maíz y la producción forrajera en las zonas central y oriental de Kenya.

Los experimentos para estimar los efectos de los cambios climáticos **proyectados** fueron realizados solamente en una zona de caso de estudio, concretamente la región de Saratov (URSS). Se examinó la respuesta de las cosechas de trigo de primavera a dos escenarios climáticos: el primero, basado en una técnica empírica que relaciona la temperatura y la precipitación regionales con las temperaturas medias anuales del hemisferio norte; el segundo, una proyección del cambio climático inducido por el CO<sub>2</sub> (el escenario GISS 2 × CO<sub>2</sub>). Aunque ambos escenarios denotaban un calentamiento regional, las cosechas eran más sensibles a los cambios en la precipitación que a los cambios en la temperatura.

En el territorio de Stavropol, la respuesta de las cosechas de trigo de invierno a los cambios en la frecuencia de ciertos tipos de años meteorológicos está claramente en línea con las respuestas presentadas anteriormente para la región de Saratov. Un aumento en la frecuencia de condiciones secas o muy secas reduciría las cosechas medias a largo plazo, mientras que una frecuencia creciente de los años normales o fríos y húmedos aumentaría las cosechas medias.

#### *Efectos de orden superior en la agricultura*

*Efectos diferenciales en el marco de la agricultura.*— Los efectos de la sequía pueden variar notablemente de acuerdo con las actitudes de los agricultores frente al riesgo, lo que a su vez puede estar afectado por sus recursos básicos.

*Diferencias debidas a las distintas actitudes frente al riesgo.*— Los grandes terratenientes, los pequeños hacendados y los no propietarios adoptan diferentes estrategias para hacer frente a los riesgos. En el nordeste de Brasil, por ejemplo, los grandes terratenientes optan, generalmente, por actividades lucrativas tales como la crianza de ganado vacuno y transfieren las actividades más vulnerables (especialmente la producción agrícola) a arrendatarios y socios. Los pequeños hacendados y los no propietarios se ocupan, fundamentalmente, en el autoabastecimiento, lo que comporta más riesgo. Esta es una razón por la que, durante el período de sequía 1979-1982, en el nordeste de Brasil, el número de cabezas de ganado aumentó realmente, mientras que muchos pequeños hacendados, no propietarios y sus familias, se enfrentaron con fuertes privaciones personales.

*Diferencias debidas a los recursos básicos de los agricultores.*— Dado que los pequeños hacendados y los no propietarios están dedicados en gran parte a la producción de subsistencia y también, en general, tienen un bajo nivel de acceso a la irrigación y otras instalaciones para mitigar la sequía, es mucho más general que los cultivos de los pequeños hacendados muestren los mayores efectos de la sequía. En el nordeste de Brasil, por ejemplo, los cultivos de subsistencia tales como judías, mandioca y maíz mostraron descensos sustanciales en la producción acumulada durante la sequía de 1980, por el contrario algunos cultivos productivos tales como la caña de azúcar fueron menos afectados. En Kenya, se muestra una configuración similar, con grandes pérdidas de ganado vacuno entre los pequeños productores, en contraste con unas consecuencias más limitadas para la agricultura comercial a gran escala.

#### *Efectos a nivel familiar*

A pesar de las variaciones mencionadas antes, es posible hacer algunas generalizaciones en relación con los efectos de las variaciones climáticas en relación con la inversión de los recursos de los agricultores.

*Cambios en el consumo alimenticio doméstico.*— En general, la producción que se reserva para la subsistencia tiende a aumentar en los años secos. Por ejemplo, en el nordeste de Brasil durante la sequía de 1980 aumentó en casi diez puntos el porcentaje respecto a la proporción de un año de precipitaciones normales. Además, hay una elasticidad sustancialmente mayor de algunos alimentos con respecto a otros, de modo que, por ejemplo, el consumo de subsistencia de huevos, productos lácteos y carne disminuyó en los años de sequía en favor de las judías y las semillas oleaginosas.

*Cambios en las configuraciones de la producción familiar.*— La explotación agrícola familiar tiende a responder a los cambios de las configuraciones de consumo mediante el aumento de la superficie para la producción de materias primas alimenticias. Esto se puso en evidencia en el caso del maíz en Kenya, durante la sequía de 1984, y en el de las judías y la mandioca en el nordeste de Brasil, durante el período 1979-1983. El hecho de que la sequía es un problema recurrente (o al menos así lo entienden los agricultores), puede explicar parcialmente el aumento a largo plazo (1970-1987) de la superficie para cultivos alimenticios en el nordeste de Brasil, habiendo equilibrado esta expansión un descenso general de la productividad (debido a un laboreo más persistente y al uso de tierra menos adecuada). En los casos de escasez extrema de alimentos, el consumo de granos para siembra puede perjudicar la recuperación de la producción familiar cuando vuelvan las lluvias. Más de un tercio de

agricultores de algunas partes de Kenya informaron sobre el consumo de granos para siembra, durante la sequía de 1984.

*Cambios en el nivel de recursos de las producciones familiares.* – Los intentos de sostener los ingresos de las producciones familiares durante los periodos de sequía incluyen la venta de recursos, aumentos de los préstamos, aplazamientos en las deudas, etc. Esto varía en gran manera de acuerdo con la posición económica de los productores familiares. Más de una cuarta parte de las producciones familiares en el noroeste de la India informaron de venta de bienes en los años de la sequía y más de la mitad de los productores familiares en las partes más secas de las zonas central y oriental de Kenya informaron haber vendido, consumido o perdido ganado vacuno durante 1984.

*Efectos en los ingresos de las producciones familiares.* – En los lugares en que los pequeños agricultores son los principales suministradores de productos alimenticios, se produce con frecuencia un fuerte descenso de los precios justamente después de la recolección. Esto es debido a la falta de capital y de capacidad de almacenamiento que permitiría a los pequeños agricultores esperar a un mejor momento para la venta de sus productos. Tras una abundante venta después de la recolección, los precios comienzan a subir fuertemente, en especial en los años de sequía. Esto se puso en evidencia en el nordeste de Brasil durante la sequía de 1979, cuando los precios de las judías y el arroz, en el Estado de Ceará, crecieron a un ritmo del 90 al 100 por ciento por encima del ritmo de inflación. Aumentos de este orden son típicos en las respuestas de los precios en los mercados locales rurales, pero con frecuencia no se reflejan en los precios para el consumidor de las grandes ciudades, debido, fundamentalmente, al almacenamiento por los intermediarios.

*Efectos sobre las compras de las producciones familiares.* – Dado que una gran proporción del presupuesto típico de las producciones familiares de los pequeños propietarios se gasta en alimentos (cerca del 45 por ciento durante la sequía de 1979-1980 en el nordeste de Brasil), los gastos en artículos no alimenticios tienden a reducirse sustancialmente en periodos de sequía. Como estos productores son normalmente importantes consumidores de bienes de fabricación industrial, tales como alimentos preparados, vestido, calzado o medicinas, la reducción en sus ingresos puede tener un efecto importante sobre el mercado familiar. Así, mientras que la producción agrícola bruta descendió en cerca del 24 por ciento en el nordeste de Brasil, durante 1983, el cambio en el consumo real de vestido descendió el 33 por ciento.

*Efectos sobre los productos regionales.* – Sólo un caso de estudio, en este tomo, informaba sobre las estimaciones de los efectos acumulados sobre los productos a nivel regional, basándose, en este ejemplo, en el análisis regional de consumo-producción. Esto indica que, en Australia, la agricultura respecto al multiplicador regional de producción es del orden de 1,7 a 2,0. En consecuencia, una reducción de 140 millones de \$ australianos en la producción del sector rural de la zona de Darling Downs, en Queensland, durante la sequía de 1982-1983 condujo a una reducción de la producción total regional de 240 millones de \$ australianos. Estos multiplicadores productivos no son tan elevados como algunos otros (tales como los servicios gubernamentales, que alcanzan hasta cerca de tres), pero tienen importancia debido a la relativa inestabilidad del sector agrícola.

*Efectos sobre la renta regional.* – Los multiplicadores de rentabilidad regional son generalmente mayores que los multiplicadores productivos, con un valor medio de tres, por ejemplo, en Australia. En consecuencia, las variaciones climáticas pueden inducir impactos sustanciales en la renta regional y especialmente en el empleo. El caso de estudio de Australia, incluido en este tomo, ofrece una explicación adecuada de este efecto multiplicador, extraída del trabajo de Powell (1978): en una región donde la agricultura contribuye con el 30 por ciento al producto regional, si las sequías fueran la causa de que la producción agrícola descendiera el 10 por ciento y la producción regional el 3 por ciento (con un descenso asociado de los ingresos directos de, digamos, el 4 por ciento), el efecto de un multiplicador de rentabilidad de tres produciría un descenso en la renta regional de más del 10 por ciento.

*Efectos de amplio espectro social y ambiental.* – Además de las consecuencias económicas de las variaciones climáticas en las zonas semiáridas, esbozadas anteriormente, se consideran en estos casos de estudio una amplia gama de otros efectos. Incluyen efectos sobre:

- el estado de la nutrición;
- la mortalidad;
- el suministro de trabajo mediante la emigración;
- la estructura de la posesión de la tierra;
- el medio ambiente natural a través de la degradación medioambiental asociada, a largo plazo.

## Respuestas políticas posibles

### *Tipos de intervención pública existentes*

En este tomo se explican cuatro grandes tipos de respuestas políticas a la sequía. Algunas tienen sus raíces en las primitivas formas de gestión de las crisis, y por esto se mantienen ciertas prácticas de la gestión de crisis, tales como una persistencia de medidas *ad hoc* y una atención inadecuada a las causas de las crisis (por ejemplo, la vulnerabilidad intrínseca de ciertos sistemas de explotación agrícola y de los sistemas sociales).

*Alimentos, créditos y medidas para la provisión de fondos.*— Estas incluyen que se provea el modo de:

- almacenar alimentos o forraje y aumentar su disponibilidad durante y después de la sequía;
- intensificar la transferencia interregional de alimentos mediante la mejora de las redes de transporte y el establecimiento de acuerdos comerciales adecuados;
- aumentar el suministro de alimentos y forrajes ya sea mediante la distribución directa o mediante subvenciones a los costes de alimentos y forrajes;
- mantener los ingresos de las explotaciones agrícolas subvencionando las tasas de interés agrícola y los costes de los consumos de la explotación;
- generar empleo alternativo o ingresos mediante programas de obras públicas durante y después de la sequía, o mediante el desarrollo, a largo plazo, del empleo en los sectores industrial y de servicios.

*El abastecimiento de agua.*— Las medidas a gran escala para la transferencia intercronológica o interregional de agua fueron particularmente características de las primeras políticas de alivio a la sequía, habiéndose supuesto que el problema decisivo era el de la escasez de agua y que la solución primordial se hallaba en grandes obras públicas para la irrigación, que aumentasen tanto la protección contra futuras sequías como que proporcionasen empleo en las obras públicas. Los trabajos de este tipo para protección de la irrigación a gran escala formaron, por ejemplo, el soporte principal de la política frente a la sequía en Brasil y la India, desde 1880 hasta alrededor de 1950. Más recientemente, se ha cambiado el énfasis hacia desarrollos a más pequeña escala, tales como el fomento por parte del gobierno, desde 1979 a 1986, de una construcción generalizada de albercas para el almacenamiento de agua en las explotaciones agrícolas del nordeste de Brasil.

*Cambios en la estructura de la gestión de las explotaciones agrícolas.*— Estos incluyen la promoción de medidas de conservación del suelo y de la humedad del suelo (tales como un cerramiento de las lindes y un labrado ocasionalmente profundo) y la reorganización de la estructura de la explotación agrícola y de la infraestructura rural (tales como mejoras de los sistemas de transporte, comercialización y créditos). Dichas medidas fueron con frecuencia típicas de las políticas gubernamentales en los años 50 y 60. El éxito fue limitado debido a que no estaban aún disponibles las nuevas tecnologías para la agricultura (en especial las variedades de cultivos de alto rendimiento).

*Medidas de orientación de cultivos.*— Estas incluyen el desarrollo y difusión de la nueva tecnología, en particular con respecto a las variedades de cultivos de alto rendimiento, la gestión de cultivos y el tratamiento para las malas hierbas, las enfermedades y las plagas de insectos. En la mayoría de las regiones estas medidas no se llevaron a cabo en amplitud hasta mediados de los años 70, cuando pudo disponerse en forma creciente de los cultivos de alto rendimiento. Aunque este método en total ha aumentado las cosechas en gran manera, puede ser criticado por su fuerte énfasis en la productividad de cultivos, oponiéndose a los sistemas diversificados, flexibles y de bajo riesgo que a menudo caracterizaban la agricultura tradicional y proporcionaban una cierta capacidad de reacción inherente frente a la sequía. La agroclimatología ha desempeñado un papel de importancia creciente en estos paquetes de medidas. Por ejemplo, muchos casos de estudio han demostrado el valor de la investigación climatológica en la identificación de regiones que sean aproximadamente similares en relación con el carácter de la precipitación recibida; pueden, por tanto, tratarse como zonas ampliamente homogéneas para posibles cultivos que merecen, aproximadamente, similares estrategias de explotación agrícola. En cada una de esas zonas sería posible modelizar el efecto de diferentes niveles de irrigación sobre los rendimientos de los cultivos bajo diferentes condiciones climáticas e identificar, de este modo, los niveles apropiados y los calendarios de irrigación para optimizar la producción regional de los cultivos.

*Un enfoque de desarrollo regional integrado.*— En algunos casos de estudio de esta publicación resulta lógico que el problema de la sequía se considere, en parte, como un problema de subdesarrollo. Esta consideración implica que, para que tengan éxito las intervenciones gubernamentales necesitan referirse a transformaciones económi-

cas y sociales a gran escala. El enfoque aquí no está sólo en fomentar el acceso al agua y en mejorar la rehabilitación tras la sequía, sino también en elevar el nivel de vida y, en consecuencia, reducir la vulnerabilidad de las explotaciones agrícolas familiares a la pérdida de ingresos como resultado de la sequía. Un ejemplo de esto es el *Proyecto Nordeste* de Brasil que pretende, para los 15 años que van desde 1985 hasta el año 2000 y con un coste de 12 billones de \$ EE.UU., aumentar la capacidad de reacción frente a la sequía en el nordeste del país, favoreciendo la propiedad de la tierra hacia los pequeños productores rurales, aumentando el gasto público en las zonas rurales para enseñanza, sanidad y salud, y promoviendo el acceso al agua, al crédito y a la asistencia técnica.

*El desarrollo de políticas "racionales" frente a la sequía.*— Una respuesta estrictamente racional de los agricultores y de los gobiernos frente a la sequía requiere información sobre la probabilidad de ocurrencia y la duración de las sequías y sobre los costes y los beneficios relativos de las respuestas alternativas. La naturaleza de "bien público" de esta información justifica la actuación gubernamental para adquirirla y proporcionarla. Sin embargo, un caso duro puede conducir a intentar restringir la asistencia *ad hoc* esperada del gobierno lo que (al menos en las economías en desarrollo) puede aumentar la incertidumbre con que se enfrentan los agricultores y probablemente producirá decisiones menos eficaces del agricultor y una producción más baja de la que, en otro caso, tendría lugar. Los gobiernos pueden facilitar respuestas individuales racionales adoptando un conjunto de políticas que se apliquen con congruencia y sean ampliamente conocidas y fomentando un mercado eficaz del capital para permitir a los agricultores el equilibrio entre la variabilidad de sus ingresos y sus (menos variables) gastos familiares y comerciales.

## Conclusión

Pueden adoptarse, ciertamente, algunas estrategias para mitigar los efectos de los cambios climáticos. La pregunta no es: ¿Puede adaptarse la agricultura?, sino: ¿Cómo puede adaptarse mejor la agricultura? El trabajo durante el próximo decenio es explorar el alcance de los diferentes tipos y proporciones del cambio climático. Está faltando mucha información esencial relativa al detalle regional de los cambios en la temperatura y la precipitación y sobre los posibles cambios en la distribución de la precipitación a lo largo del año. Sin embargo, es evidente que, aunque no puede predecirse en la actualidad la forma en que cambiará el clima, pueden estimarse las consecuencias de los cambios climáticos posibles. De esta forma se puede mejorar la comprensión y la exploración de los efectos mediante las respuestas apropiadas.

# COMISION DE HIDROLOGIA

## OCTAVA REUNION, GINEBRA, OCTUBRE/NOVIEMBRE DE 1988

Del 24 de octubre al 4 de noviembre, tuvo lugar en el Centro Internacional de Conferencias de Ginebra la octava reunión cuatrienal de la CHI. Asistieron 161 delegados, representando a 71 países Miembros y a 13 organizaciones internacionales. Hubo más que en reuniones anteriores.

Los participantes recibieron la bienvenida del Ayudante del Secretario General, el Sr. R. Czelnai, en nombre del Secretario General. Habló del papel esencial que desarrolla la hidrología dentro del trabajo de la OMM, subrayando su importancia para encarar los problemas actuales y más urgentes de la sociedad, sequías, inundaciones, contaminación del agua (incluyendo el vertido accidental de sustancias peligrosas) y el impacto del cambio climático. Resaltó la necesidad de aplicar la ciencia y la tecnología no sólo para beneficio directo de la humanidad sino también para proteger el medio ambiente.

El Dr. Ö. Starosolszky, en su alocución presidencial, disertó sobre la importancia de las actividades de la CHI en el pasado período intersesiones, las cuales, afirmó, fueron realmente pertinentes para los problemas del medio ambiente mundial así como para el desarrollo socioeconómico. Mencionó algo sobre los desastres naturales que han ocurrido tales