

# SEGURIDAD ALIMENTARIA EN UN MUNDO CON CRECIENTE ESCASEZ DE RECURSOS NATURALES

## EL ROL DE LAS TECNOLOGIAS AGRICOLAS

Mark Rosegrant, Jawoo Koo, Nicola Cenacchi, Claudia Ringler, Ricky Robertson, Myles Fisher, Cindy Cox, Karen Garrett, Nicostrato Perez, and Pascale Sabbagh

La población mundial llegó a 7000 millones en 2011 y se espera que llegue a 9000 millones al 2050. Mucho de este crecimiento estará concentrado en países de bajos ingresos, que ya enfrentan serios desafíos para satisfacer las necesidades básicas, incluyendo el alimento, agua, y energía. El crecimiento de la población y de los ingresos impulsarán la demanda por alimentos en las próximas décadas; entre 2005 y 2050 (basado en el escenario de cambio climático MIROC A1B) se necesitará producir casi 80 por ciento más carnes, 52 por ciento más cereales y 40 por ciento más tubérculos y raíces, probablemente con precios mayores de alimentos y con consecuencias adversas para las poblaciones pobres y vulnerables del mundo. Bajo el mismo escenario base, los precios de los alimentos de maíz, arroz y trigo aumentarán significativamente entre 2005 y 2050, y el número de habitantes bajo riesgo de hambre en el mundo en desarrollo crecerá de 881 millones en 2005 a 1031 millones de personas en 2050.

El cambio climático contribuye significativamente a los aumentos de precios proyectados. El cambio climático podrá reducir los rendimientos en maíz entre 9 y 18 por ciento al 2050 comparado con un escenario sin cambio climático, dependiendo del escenario de cambio climático usado, los sistemas de cultivo (temporal o irrigado), y si se incluye el efecto de la fertilización por carbono; en arroz los rendimientos podrán caer de 7 a 27 por ciento; y los rendimientos en trigo podrán bajar entre 18 y 36 por ciento al 2050, comparados con un escenario sin cambio climático (Nelson et al. 2009).

Atender los desafíos del cambio climático, el aumento a largo plazo de los precios de los alimentos, y el poco avance en mejorar la seguridad alimentaria van a requerir un aumento en la producción de alimentos sin dañar más al ambiente. Será crucial acelerar las inversiones en investigación y desarrollo agrícola para apoyar la mayor producción de alimentos. Sin embargo, no sabemos cuáles son las tecnologías agrícolas que deben aplicarse. A su vez, el paquete tecnológico futuro tendrá un importante impacto en la producción agrícola, el consumo de alimentos, la seguridad alimentaria, el comercio, y la calidad ambiental en países en desarrollo. El tipo y la efectividad de las tecnologías agrícolas es muy debatido, y el debate es frecuentemente polarizado. Los defensores de la agricultura intensiva piensan que las inversiones en ciencia agrícola especializadas, incluyendo la biotecnología y modificación genética, son necesarias para el crecimiento rápido de la agricultura, junto al uso de niveles altos de insumos como fertilizantes, plaguicidas y agua. Del otro lado del espectro, los

defensores de la agricultura de pocos insumos enfatizan el papel de usar pocos insumos y mejorar el manejo de los cultivos a través de la captación de agua, la siembra directa y la fertilidad de los suelos para aumentar el rendimiento de los cultivos a futuro.

Hay muchas opciones de tecnología, pero es relativamente escasa la información transparente y basada en evidencia que soporte las decisiones sobre el potencial de tecnologías alternativas. Esto ya no es una cuestión de países de bajos versus altos ingresos, pero un tema del planeta: como logramos la seguridad alimentaria en un mundo de creciente escasez? Entonces, un desafío importante para nuestro futuro común será como producir alimentos sosteniblemente – alcanzando las demandas de una población creciente sin degradar nuestros recursos naturales base.

El objetivo de este estudio es comparar los efectos que varias tecnologías tienen en la productividad de maíz, arroz y trigo, y en el uso de recursos, particularmente tierra cultivada, agua y nutrientes. Al modelar cambios inducidos por tecnología en el rendimiento de los cultivos, el análisis también ayuda a explicar cómo la combinación de tecnologías podrá influenciar el mercado global de alimentos por medio de cambios en el precio de los alimentos y el flujo comercial, y como las tecnologías puedan afectar la seguridad alimentaria medida en cambios en la disponibilidad calórica, el número de niños malnutridos y cambios en el número de personas bajo riesgo de hambre, particularmente en los países en desarrollo.

El estudio apunta a los legisladores en ministerios de agricultura, institutos nacionales de investigación agrícola y bancos multilaterales de desarrollo, al sector privado y el CGIAR que buscan lineamientos sobre cuales estrategias tecnológicas deben perseguir para lograr niveles de seguridad alimentaria nacionales, regionales y globales en un mundo con una escasez de recursos naturales que crece rápidamente y con competencia por tierra, agua y energía entre sectores productivos e inclusive entre países.

## **METODOLOGIA**

Este estudio uso una combinación de modelos de cultivos espacialmente desagregados conectados con modelos económicos para explorar los impactos en productividad agrícola y los mercados globales de alimentos para 11 alternativas de tecnología agrícola, así como algunas combinaciones de las mismas para maíz, arroz y trigo, los principales alimentos base del mundo. Las tecnologías cubren un rango amplio de prácticas tradicionales, convencionales y avanzadas con algo de potencial probado para mejorar los rendimientos y con potencial para aplicación en un área geográfica amplia. Las tecnologías seleccionadas son:

1. Labranza cero (sin disturbar el suelo o en forma mínima, frecuentemente en combinación con retención de residuos, rotación de cultivos y el uso de cultivos de cobertura)
2. Manejo integrado de la fertilidad del suelo o ISFM (combinación de fertilizantes químicos, residuos de cultivos y estiércol/compost )
3. Agricultura de precisión (asistencia de GPS para la aplicación de insumos agrícolas, así como las prácticas de manejo de baja tecnología que apuntan a controlar todos los parámetros del campo, desde la aplicación de insumos hasta el espacio entre plantas y el nivel de agua)

4. Agricultura orgánica (cultivo con exclusión de o límites estrictos en el uso de fertilizantes fabricados, plaguicidas, reguladores de crecimiento y organismos genéticamente modificados)
5. Captación de agua (el agua es canalizada hacia los campos de cultivo desde macro o micro cuencas, o por el uso de diques, represas o curvas de nivel)
6. Riego por goteo (el agua se aplica en leve descarga directamente alrededor de cada planta o a la zona de la raíz, frecuentemente usando micro tubos)
7. Riego por aspersión ( el agua se distribuye bajo presión por una red de tubos y llega al cultivo por picos pulverizadores elevados)
8. Tolerancia al calor (variedades mejoradas que muestran características que le permiten a la planta mantener su productividad a temperaturas mayores)
9. Tolerancia a la sequía (variedades mejoradas que muestran características que le permiten a la planta tener mejor rendimiento, en comparación con las variedades normales, debido a su capacidad de captar la humedad del suelo y su menor susceptibilidad a la escasez de agua)
10. Eficiencia en el uso del nitrógeno (plantas que responden mejor a los fertilizantes)
11. Protección de cultivos (la práctica de manejar las plagas, enfermedades, malezas y otros organismos que dañan los cultivos agrícolas). Debido a las limitaciones en la disponibilidad de datos, tuvimos que limitar nuestro análisis al control químico para representar la protección de cultivos en general.

El estudio emplea un sistema de modelaje novedoso que combina el modelaje exhaustivo basado en procesos, de las tecnologías agrícolas a nivel global en un tramado de 60 kilómetros por 60 kilómetros de la tierra arable, con el modelaje sofisticado a nivel global de la demanda de alimentos, su oferta y comercio. Específicamente, el modelo biofísico de cultivos basado en procesos (Sistema de Apoyo a las Decisiones de Transferencia Agrotecnológica, o DSSAT, por sus siglas en inglés) es usado para evaluar el impacto de cada tecnología o combinación de tecnologías en la productividad (rendimientos) y el uso de recursos (como agua y nitrógeno). El modelo IMPACT (Modelo Internacional para el Análisis de Políticas de Productos Agrícolas y Comercio) es un modelo global de equilibrio parcial para el sector agrícola, desarrollado por el Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), que simula cambios en productividad debido a la adopción de tecnologías que afectan el rendimiento, consumo y comercio de alimentos, los precios internacionales de los alimentos y la seguridad alimentaria.

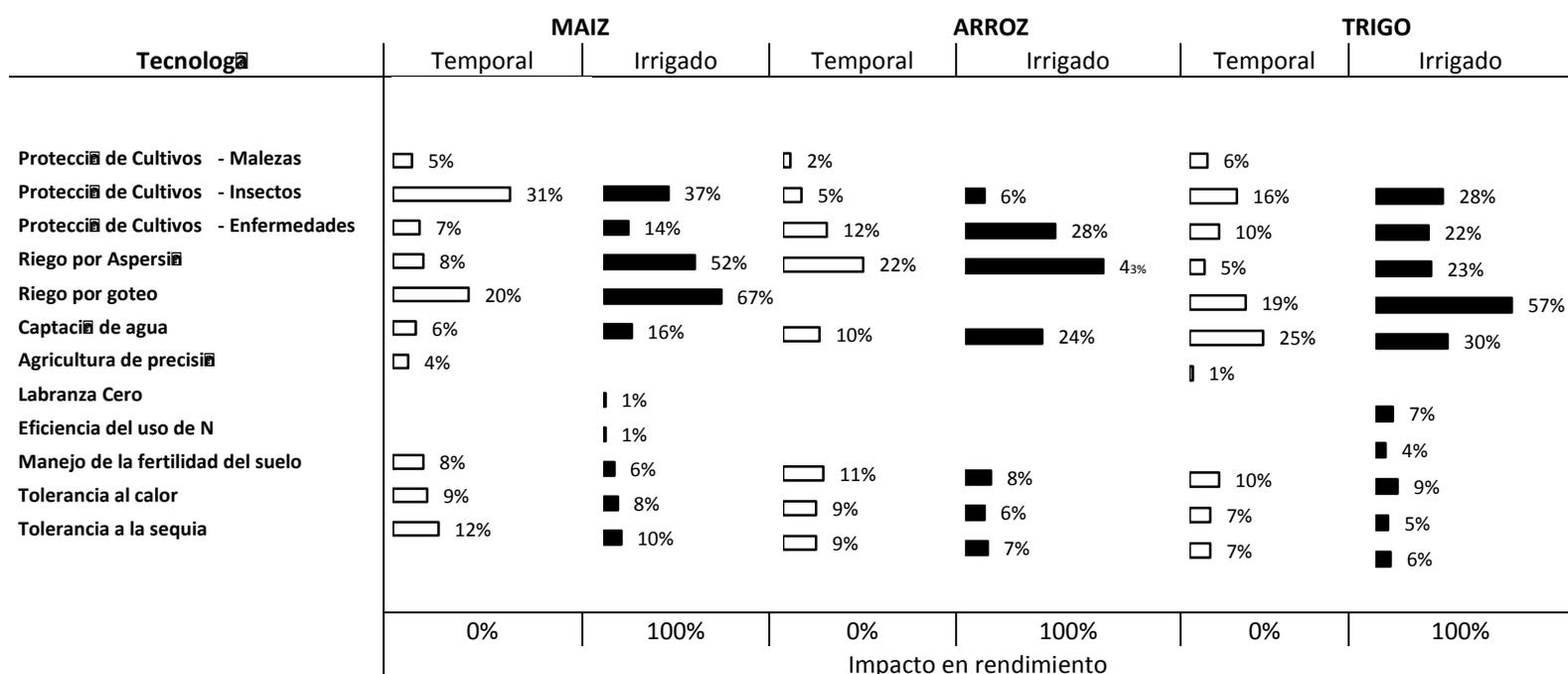
Los rendimientos de cada lugar específico son simulados en un tramado de medio grado (o aproximadamente 60 kilómetros) para los cultivos de temporal o irrigados de maíz, arroz y trigo, con o sin acceso a las tecnologías potenciales, bajo condiciones actuales o futuras (2050s) del clima según predicciones de MIROC (Modelo para Investigación Interdisciplinaria en Clima) A1B y CISRO (Organización de Investigación Científica e Industrial de la Comunidad {Australia}) A1B para los escenarios de cambio climático. Los rendimientos simulados por DSSAT para las prácticas agrícolas convencionales, que constituyen la línea base de comparación, reflejan el mejor entendimiento actual de las prácticas de manejo de los agricultores, y están basados en una compilación de bases de datos globales, bibliografía, y una síntesis de IFPRI de los parámetros de insumos de modelos de cultivos. Las tecnologías agrícolas se implementan en los modelos de cultivos ajustando los parámetros de insumos y

codificando detalladamente las prácticas de manejo para reflejar como los productores implementarían la tecnología en el campo. Los resultados de DSSAT son entonces alimentados al modelo IMPACT de IFPRI usando variables que consideran rentabilidad, costo inicial y capital, reducción de riesgo, y la complejidad de la tecnología, para simular la oferta y demanda global de alimentos, el comercio de alimentos y los precios internacionales de los alimentos para estos tres cultivos, además de otros indicadores de seguridad alimentaria.

**RESULTADOS:**

Con base a los resultados del modelo biofísico del Sistema de Apoyo a las Decisiones de Transferencia Agrotécnica (DSSAT, por sus siglas en inglés), bajo el escenario de clima más caliente y húmedo MIROC A1B, los principales impactos en producción *ex ante* para el maíz son logrados con tolerancia al calor seguido de labranza cero. La eficiencia en el uso de nitrógeno tiene el impacto en rendimiento más alto en el caso del arroz, seguido del Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelo (ISFM, por sus siglas en inglés). En el caso del trigo, labranza cero tiene el mayor impacto en producción, seguido de agricultura de precisión (Figura 1). Por otro lado, en el escenario más seco y fresco del CSIRO A1B, los beneficios de la tolerancia al calor son menores, llevando esta tecnología al tercer lugar a nivel global, en el caso del maíz. Los tres tipos de protección de cultivos (de insectos, plagas y maleza) también pueden aumentar el rendimiento entre un 6 y 12 por ciento en los distintos escenarios de cultivos y climas.

**Figura 1. Cambio global de los rendimientos en 2050, tecnologías alternativas comparadas con la línea base (corrida de DSSAT)**



Fuente: Corridas del modelo Biofísico, MIROC A1B escenarios de cambio climático

Considerando los perfiles de adopción, el comercio de materia agrícola y los precios internacionales de los alimentos, utilizando el modelo IMPACT, los impactos obtenidos en el rendimiento global para el 2050 en el maíz son del 16 por ciento debido a la adopción de variedades tolerantes al calor y la labranza cero; en el caso del arroz, 20 por ciento debido a la eficiencia del uso de nitrógeno y 9 por ciento por la agricultura de precisión; y para el trigo, 16 por ciento de la labranza cero y 10 por ciento de la agricultura de precisión (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Cambio global de los rendimientos en 2050, tecnologías alternativas comparadas con la línea base (corridos de IMPACT)**

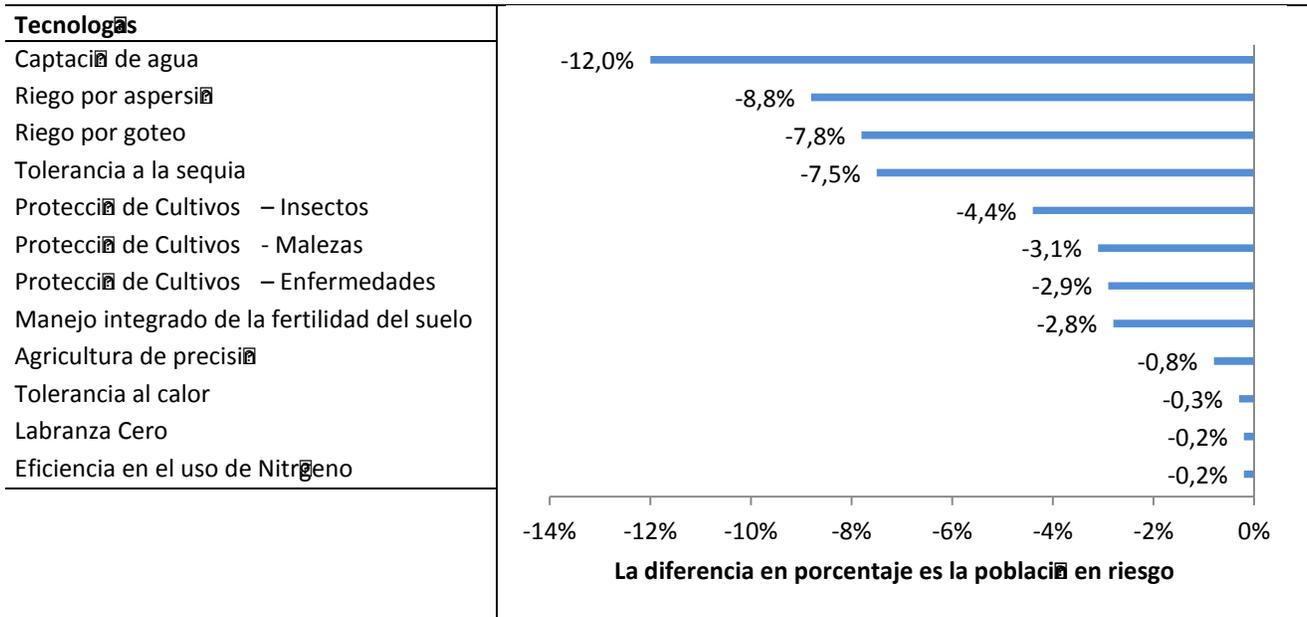
Tecnología	Maíz	Arroz	Trigo
Eficiencia en el uso de Nitrógeno	11.3	20.2	6.2
Labranza Cero	15.8		16.4
Tolerancia al calor	16.1	3.0	9.3
Agricultura de precisión	3.7	8.5	9.7
Manejo integrado de la fertilidad del suelo	1.8	6.7	3.8
Protección de Cultivos – Enfermedades	2.2	2.8	4.2
Protección de Cultivos – Malezas	3.1	2.5	3.4
Protección de Cultivos – Insectos	2.6	2.5	3.3
Tolerancia a la sequía	1.1	0.1	1.4
Riego por goteo	0.1		0.7
Captación de agua	0.5		0.1
Riego por aspersión	0.1		0.4

Fuente: Simulaciones de IMPACT con perfiles de adopción, escenario climático MIROC A1B

Nota: los espacios vacíos indican que la tecnología no es aplicable.

El impacto en la seguridad de alimentos (nuevamente usando el escenario MIROC A1B) puede ser significativo. La cantidad de personas que sufren de inseguridad alimentaria en países en desarrollo en el 2050 puede ser reducida en un 12 por ciento si se implementaran las tecnologías para la eficiencia del uso de nitrógeno, en un 9 por ciento si se adoptara de una manera más amplia la labranza cero, en un 8 por ciento si se adoptaran las variaciones tolerantes al calor o bien la agricultura de precisión y en más de un 4 por ciento por medio del ISFM (Figura 2).

**Figura 2. Cambio en el número de personas bajo riesgo de hambre al 2050, tecnologías alternativas comparadas con la línea base**



Fuente: Simulaciones IMPACT, escenario climático MIROC A1B .

Nota: ISFM: manejo integrado de la fertilidad del suelo

Es importante señalar varios resultados clave adicionales basados en el modelo biofísico y económico. Primero, los impactos de la tecnología agrícola difieren de manera significativa entre regiones y países. Por medio del uso de las tecnologías en los tres cultivos, las mayores ganancias en producción, en cuanto a porcentajes, se dan en África, el Sur de Asia y partes de América Latina y el Caribe. Dada la heterogeneidad en la respuesta de producción, es importante identificar tecnologías específicas para regiones y países específicos. Esto incluye enfocar en variedades tolerantes al calor en Norte América y el Sur de Asia; tolerancia a la sequía en América Latina y el Caribe, el Medio Oriente y el Norte de África y el Suroeste de África al sur del Sahara; y en la protección de cultivos en el Suroeste de África al sur del Sahara, en el Sur de Asia y Europa Oriental. La agricultura de precisión muestra la mayor ganancia total en áreas grandes de producción en el Sur de Asia, el Medio Oriente y el Norte de África y parte de Europa Occidental. Las variedades eficientes en el uso de nitrógeno también son críticas para la reducción del uso de recursos y para el avance hacia el desarrollo sostenible. Estas muestran ganancia en la mayoría de las regiones en desarrollo, particularmente en el Sur de Asia, en Asia Oriental y el Pacífico, al igual que el Suroeste de África al sur del Sahara. El mayor potencial para ISFM se encuentra en regiones de bajo recurso dentro de África, en el Sur de Asia y en parte de Asia Oriental y la región del Pacífico.

Segundo, los impactos de la tecnología agrícola se ven aumentados con la irrigación (Figura 1). Mientras que los impactos directos de producción debidos a la sustitución de riego en surcos con el riego por goteo y aspersión son pequeños para el maíz y el trigo, el ahorro de agua es sustancial. Además, debido a que el impacto en producción de otras tecnologías tiende a ser mayor con la irrigación, la inversión en irrigación avanzada deberá ir de la mano con la implementación de la tecnología.

Tercero, la tecnología es importante para enfrentar fuentes de estrés abiótico, las cuales se ven en aumento debido a los cambios climáticos. Las variedades tolerantes a la sequía dan un desempeño equivalente que las variedades susceptibles en condiciones sin estrés de sequía y presentan significantes beneficios de producción bajo condiciones de sequía. Las variedades tolerantes al calor pueden ayudar a reducir los impactos negativos proyectados ante el cambio climático. Además de las fuentes de estrés abiótico, una mayor implementación junto con el continuo desarrollo de protección de cultivos contra malezas, insectos y enfermedades puede obtener grandes beneficios en los países en desarrollo.

Cuarto, la mejora en el manejo de la tierra tiene alto impacto en producción en muchas regiones. Prácticas clave de alto impacto en el manejo de tierra incluyen labranza cero (particularmente en el maíz), agricultura de precisión e ISFM. Por otro lado, la agricultura orgánica no es una estrategia de preferencia para el maíz, el trigo ni el arroz, aunque pueda tener un papel en nichos de mercados de valor alto.

Quinto, dado el aumento en la escasez de los recursos naturales, las tecnologías que disminuyen el uso de agua al igual que la escorrentía de nitrógeno son particularmente importantes. Estos incluyen riego avanzado, como el riego por goteo y aspersión en comparación con el riego por surcos, especialmente si se utiliza fuentes renovables de energía en su aplicación. Otras tecnologías de importancia que tratan el aumento en la escasez de recursos, incluyen la labranza cero, que conserva la humedad del suelo y disminuye la erosión; ISFM, que puede proporcionar nutrientes importantes para las fincas de África ubicadas al sur del Sahara; y eficiencia en el uso de nitrógeno en nuevas variedades, lo cual tiene fuertes impactos en la producción y puede reducir el impacto negativo en el ambiente debido a la fertilización. Una última tecnología que ha ido logrando mayor aceptación y que aumenta la conservación de recursos es la agricultura de precisión, con la cual se ve un aumento particularmente fuerte en la producción del trigo.

También encontramos una gama particularmente amplia de tecnología con alto potencial para las zonas productoras de granos del Sur de Asia.

Además de las tecnologías evaluadas individualmente, el estudio también estimó una serie de aplicaciones conjuntas de tecnología que combina los elementos de la agricultura más tradicional, como la labranza cero, con las tendencias modernas del cultivo de plantas, como por ejemplo, la tolerancia al calor o la sequía. Se ha visto que la combinación de la labranza cero con la tolerancia del calor funciona bien para el maíz y la labranza cero con la agricultura de precisión logra altos incrementos en la producción del trigo. Finalmente, la tecnología acumulada (aplicación de componentes de todas las tecnologías) puede incrementar con éxito la producción de los tres cultivos.

## **EL CAMINO HACIA ADELANTE**

Nuestro análisis sugiere que la adopción de la serie de tecnologías aquí evaluadas aumentará la producción de alimentos de manera sustancial, disminuirá los precios de los alimentos y aumentará la seguridad alimentaria, incluso bajo condiciones de cambios climáticos. La implementación de estas tecnologías en la práctica requerirá de avances institucionales, normativos y de inversión en muchas áreas. Actualmente se observa una clara división entre las tecnologías usadas en países desarrollados

versus países en vías de desarrollo, con retos clave para su adopción en países en desarrollo en las áreas de financiamiento (particularmente en el tiempo de la recuperación de la inversión), rentabilidad relativa y tamaño de la finca. Por ejemplo, ISFM y la captación de agua de lluvia son tecnologías clave ampliamente consideradas en partes de África ubicadas al sur del Sahara y partes del Sur de Asia. Se considera que tienen un costo relativamente bajo pero requieren de una fuerza laboral considerable. Por otro lado, la agricultura de precisión y el riego por goteo y aspersión actualmente permanecen concentrados principalmente en países desarrollados. La labranza cero es una de las pocas tecnologías evaluadas aquí que puede ser y que en efecto ha sido adoptada cada vez más en partes del norte y del sur, ya que se da independientemente de la escala, es relativamente baja en costo, y relativamente fácil de implementar en el maíz y el trigo. Sin embargo, es importante recalcar que todas las tecnologías aquí evaluadas muestran un claro potencial para una más amplia futura adopción tanto en los países desarrollados como aquellos en vía de desarrollo.

Los avances aquí examinados relacionados con el mejoramiento de cultivos se encuentran principalmente en países desarrollados pero podrán encontrar una adopción más rápida en los países en desarrollo si los marcos regulatorios favorables, la extensión y otros puntos de apoyo están disponibles. La continua inversión del sector privado es esencial para cosechar los beneficios de la tolerancia a la sequía y el calor, al igual que las variedades eficientes en el uso de nitrógeno descritas en este estudio.

Las mejoras en rendimiento debido a las tecnologías de riego avanzadas en lugar del riego en surcos son limitadas. Debido a su costo, estas tecnologías de riego avanzadas generalmente son adoptadas en casos de escasez de agua o falta de fuerza laboral. Sin embargo, los hallazgos actuales confirman que la irrigación en general aumenta de manera sustancial el impacto de otras tecnologías en la producción y dado el aumento de la falta de agua y fuerza laboral en partes del mundo en desarrollo, también se espera una más convergencia en estas tecnologías.

Dado que muchas de las tecnologías requieren de mucho conocimiento, será crucial que los sistemas de extensión aumenten la capacidad del conocimiento y que fuentes innovadoras de extensión – por medio de tecnología de información y comunicación, por ejemplo – sean implementadas. Además, varias de las tecnologías tardarán varios años para dar beneficios finales. Esto suele afectar su adopción en lugares donde los sistemas de tenencia de la tierra son débiles o en lugares donde los agricultores no tienen acceso a financiamiento viable. Dichas tecnologías incluyen labranza mínima, ISFM, y captación de agua. Para brindar apoyo de la adopción de estas tecnologías, mejor gobernanza y sistemas legales serán importantes al igual que inversiones del sector financiero.

Los resultados muestran que enfrentar el reto del cambio climático de manera sostenible mientras se mejora la seguridad alimentaria de manera sustancial, requiere de un esfuerzo de tres vías: el aumento de productividad de cultivos por medio del aumento de la inversión para la investigación agrícola; desarrollo y manejo conservador de recursos; y aumento en la inversión de la irrigación. El mejoramiento en las plantas debe concentrarse en casos de estrés abiótico como el calor y la sequía al igual que el estrés biótico como plagas y enfermedades, sin embargo, la inversión para las mejoras en el rendimiento debe continuar. El manejo conservador de recursos y la tecnología deben expandirse,

incluyendo la cero labranza, el manejo integral de la fertilidad del suelo, la mejor protección de cultivos y la agricultura de precisión. El aumento de inversión en irrigación rentable servirá para aumentar el retorno a otras tecnologías, mientras que las tecnologías de riego avanzado como la de goteo y aspersión pueden ahorrar agua en lugares específicos manteniendo niveles de producción.

Los resultados descritos en este estudio se basan en varias asunciones en cuanto al funcionamiento del mercado mundial de alimentos, inversiones futuras y dinámicas de comercio. Es probable que se requiera de una combinación de soluciones para mejorar de manera significativa la seguridad alimentaria conforme la población mundial aumenta pero la incertidumbre en cuanto a la eliminación del desperdicio de alimentos y las mejoras en la distribución de alimentos significa que los esfuerzos para mejorar la productividad aún son clave para la seguridad alimentaria. Aunque el camino no será sencillo ni rápido, debemos avanzar. El costo de no tomar acciones podría ser dramático para aquellos que sufren de inseguridad alimentaria.

## REFERENCIAS

Nelson, G.N., Rosegrant, M.W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M., and Lee, D. 2009. Climate Change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation. Food Policy Report. International Food Policy Research Institute, Washington, DC. USA. <http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/pr21.pdf>

## INSTITUTO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN SOBRE POLÍTICAS ALIMENTARIAS

### Miembro del Consorcio CGIAR - Un mundo libre de hambre y malnutrición

2033 K Street, NW | Washington, DC 20006-1002 USA

T: +1.202.862.5600 | F: +1.202.467.4439

Email: [ifpri@cgiar.org](mailto:ifpri@cgiar.org) | [www.ifpri.org](http://www.ifpri.org)

Esta publicación fue preparada por la división de tecnología ambiental y de producción de IFPRI. No ha sido revisada por pares/colegas. Las opiniones expresadas aquí son de los autores y no reflejan necesariamente las políticas del Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias.

Copyright © 2013 International Food Policy Research Institute. Todos los derechos reservados. Para obtener permiso para reeditar contacte a [ifpri-copyright@cgiar.org](mailto:ifpri-copyright@cgiar.org).