



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura

**2022**

**VERSIÓN RESUMIDA**

EL ESTADO  
**MUNDIAL DE  
LA AGRICULTURA Y  
LA ALIMENTACIÓN**

**APROVECHAR LA AUTOMATIZACIÓN  
DE LA AGRICULTURA PARA TRANSFORMAR  
LOS SISTEMAS AGROALIMENTARIOS**

Cita requerida:

FAO. 2022. *Versión resumida de El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022. Aprovechar la automatización de la agricultura para transformar los sistemas agroalimentarios*. Roma, FAO.

<https://doi.org/10.4060/cc2459es>

Este booklet recoge el contenido y los mensajes principales de la publicación *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022*. La numeración de las figuras y el cuadro corresponde a dicha publicación.

**FOTO DE PORTADA** ©Sorapong Chaipanya/Shutterstock.com

**TAILANDIA.** Vista aérea de un agricultor utilizando una tableta en un campo de arrozales verdes.

# ÍNDICE

## MENSAJES PRINCIPALES

## PRÓLOGO

## RESUMEN

### Automatización agrícola: las oportunidades abundan, pero no están exentas de dificultades

**FIGURA 1** Ciclo de tres fases de un sistema de automatización

**FIGURA 2** Evolución de la automatización agrícola

**FIGURA 3** Proporción del empleo en la agricultura respecto del empleo total por grupo de ingresos (arriba) y región (abajo), 1991-2019

### Comprender el pasado y mirar hacia el futuro

**FIGURA 4** Tractores en uso por 1 000 ha de tierra cultivable

**CUADRO 2** Selección de hitos de la automatización digital en la agricultura

### El estado actual de las tecnologías de automatización digital y la robótica en la agricultura

### La mecanización motorizada simple todavía desempeña un papel importante

**FIGURA 5** Selección de tecnologías digitales y robótica con inteligencia artificial por sistema de producción agrícola

4	<b>Argumentos a favor de la inversión en automatización digital</b>	20
6	<b>FIGURA 6</b> Preparación para ampliar la escala de tecnologías de automatización digital a lo largo del espectro	21
11	<b>La automatización agrícola promete beneficios ambientales, pero es necesario seguir investigando</b>	22
12	<b>Repercusiones de la automatización agrícola sobre los trabajadores y los consumidores</b>	23
13	<b>FIGURA 7</b> Un enfoque basado en sistemas agroalimentarios de las repercusiones de la automatización en el empleo	24
14	<b>El proceso de automatización agrícola debe ser inclusivo</b>	25
15	<b>Plan detallado para una automatización agrícola eficiente, sostenible e inclusiva</b>	26
16	<b>FIGURA 8</b> Esquema de las opciones en materia de políticas para aprovechar la automatización agrícola de forma responsable	27
17	<b>Las políticas e intervenciones orientadas a la agricultura también afectan a la adopción de la automatización</b>	28
18	<b>Políticas, instituciones e inversiones ajenas a los sistemas agroalimentarios</b>	29
19	<b>La automatización agrícola puede contribuir a crear sistemas agroalimentarios inclusivos y sostenibles</b>	30

# MENSAJES PRINCIPALES

**1** La automatización agrícola puede desempeñar una importante función con miras a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial el ODS 1 (Fin de la pobreza) y el ODS 2 (Hambre cero) y los relacionados con la sostenibilidad ambiental y el cambio climático, mediante el fomento de la resiliencia, el aumento de la productividad y la eficiencia en el uso de los recursos, y la mejora de la calidad e inocuidad de los alimentos.

**2** La automatización agrícola puede agravar las desigualdades si sigue siendo inaccesible para los pequeños productores y otros grupos marginados, como los jóvenes y las mujeres. Algunas tecnologías, como la maquinaria motorizada pesada, también pueden ocasionar un impacto ambiental negativo si contribuyen, por ejemplo, al monocultivo y la erosión del suelo.

**3** Antes de la revolución digital, la mecanización motorizada (por ejemplo, tractores) fue clave para la transformación agrícola en todo el mundo; sin embargo, se han producido grandes disparidades entre los países, y dentro de ellos, en cuanto a su introducción, que ha sido especialmente limitada en la mayor parte del África subsahariana.

**4** Si se ajusta a las necesidades locales y se complementa con instrumentos digitales, la mecanización motorizada sigue ofreciendo posibilidades de mejorar la productividad agrícola, conduciendo así a la reducción de la pobreza y la mejora de la seguridad alimentaria, con beneficios indirectos positivos para la economía en su conjunto.

**5** El uso de tecnologías de automatización digital está aumentando, aunque principalmente en los países de ingresos altos. A menudo, los argumentos a favor de su uso no están aún maduros: algunas tecnologías se encuentran todavía en la etapa de los prototipos mientras que, en el caso de otras, las limitaciones de la infraestructura rural de apoyo, como la conectividad y la electricidad, obstaculizan su difusión, especialmente en los países de ingresos bajos y medianos.

**6** Resulta fundamental invertir en infraestructura de apoyo y mejorar el acceso a los servicios rurales (por ejemplo, financiación, seguros, educación) a fin de garantizar el acceso a estas tecnologías, en particular a los grupos marginados, como los pequeños productores agrícolas y las mujeres.

**7** Las tecnologías de automatización digital ofrecen un gran potencial para lograr mayor eficiencia, productividad, sostenibilidad y resiliencia. No obstante, se requieren inversiones inclusivas, que atiendan a los productores, fabricantes y proveedores de servicios, con especial atención a las mujeres y los jóvenes, a fin de seguir desarrollando las tecnologías y adaptarlas a las necesidades de los usuarios finales.

**8** Las repercusiones de la automatización agrícola en el empleo varían en función del contexto. En situaciones de aumento de los salarios y escasez de mano de obra, la automatización puede beneficiar tanto a los empleadores como a los trabajadores del sector agrícola y de los sistemas agroalimentarios más amplios, creando oportunidades para los trabajadores jóvenes cualificados.

**9** En los casos en que abunda la mano de obra rural y los salarios son bajos, la automatización agrícola puede conducir al desempleo. Esto puede ocurrir si la automatización se abarata artificialmente mediante subsidios o si adelantos tecnológicos repentinos ocasionan una rápida disminución de los costos de la automatización.

**10** En los contextos en que abunda la mano de obra, los encargados de formular las políticas deberían evitar subvencionar la automatización y centrarse más bien en crear un entorno propicio para su adopción —especialmente por los pequeños productores agrícolas, las mujeres y los jóvenes—, ofreciendo al mismo tiempo protección social a los trabajadores menos cualificados, que es más probable que pierdan sus empleos durante la transición.

**11** La creación de un entorno propicio exige medidas múltiples y coherentes, que incluyen legislación y reglamentos, infraestructura, arreglos institucionales, educación y capacitación, investigación y desarrollo y apoyo a los procesos de innovación del sector privado.

**12** Las inversiones y otras medidas en materia de políticas destinadas a promover la automatización responsable de la agricultura deberían basarse en las condiciones específicas de cada contexto, como la situación de la conectividad, las dificultades relacionadas con los conocimientos y las competencias, la idoneidad de la infraestructura y la desigualdad en cuanto al acceso.

# PRÓLOGO

**E**n el presente informe se aborda en profundidad una realidad de la agricultura, a saber: el sector está experimentando un profundo cambio tecnológico a un ritmo cada vez más rápido. Nuevas tecnologías, inimaginables hace tan solo unos pocos años, están surgiendo con rapidez. En el ámbito de la producción ganadera, por ejemplo, las tecnologías basadas en el marcado electrónico de los animales, así como robots de ordeño y sistemas de alimentación de aves de corral, están extendiéndose cada vez más en algunos países. La orientación del sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) permite automatizar la producción de cultivos, mediante el uso de guiado automático para tractores, distribuidoras de fertilizantes y pulverizadores de plaguicidas. Tecnologías aún más avanzadas están apareciendo ya en el mercado en todos los sectores. En la producción de cultivos, se están empezando a comercializar máquinas autónomas, como robots de deshierbe, mientras que vehículos aéreos no tripulados, comúnmente denominados drones, reúnen información tanto para la gestión de cultivos como para la aplicación de insumos. En la acuicultura, la adopción de tecnologías de alimentación y seguimiento automatizados es cada vez mayor. En el ámbito de la actividad forestal, la maquinaria para la corta y el transporte de madera constituye actualmente uno de los principales objetivos de las iniciativas de automatización. Muchas de las tecnologías más recientes facilitan la agricultura de precisión, una estrategia de gestión que emplea la información para optimizar la utilización de los insumos y recursos.

Los recientes adelantos tecnológicos pueden resultar asombrosos y sorprendentes e inspirar el deseo de aprender más. Sin embargo, es importante recordar que el cambio tecnológico no es un fenómeno nuevo y, lo que es crucial, no todos los actores de los sistemas agroalimentarios tienen acceso a él. La FAO viene estudiando este tema desde hace decenios. Lo que vemos hoy en día no es más que un punto de consolidación —por el momento— de un largo proceso de cambio tecnológico en la agricultura que se ha ido acelerando a lo largo de los dos últimos siglos.

Este proceso ha permitido aumentar la productividad, reducir el trabajo pesado en las tareas agrícolas, liberar mano de obra para otras actividades y, en última instancia, mejorar los medios de vida y el bienestar humano. La maquinaria y el equipo han mejorado y a veces han asumido las tres etapas clave que conlleva toda actividad agrícola, a saber, el diagnóstico, la toma de decisiones y la ejecución. La evolución histórica revela cinco categorías de tecnologías: la introducción de herramientas

manuales; el uso de la tracción animal; la mecanización motorizada desde la década de 1910; la introducción de equipo digital desde la década de 1980; y, más recientemente, la introducción de la robótica. La automatización a la que se hace referencia en el presente informe comienza realmente con la mecanización motorizada, que ha automatizado considerablemente el componente relativo a la ejecución de las actividades agrícolas. Las tecnologías digitales más recientes y la robótica permiten la automatización gradual también del diagnóstico y la toma de decisiones. Como se señala en el presente informe, esta evolución está en curso, pero no todos los productores agrícolas en todos los países se encuentran en la misma fase.

Es cierto que existe una preocupación generalizada por las posibles repercusiones socioeconómicas negativas del cambio tecnológico que permite ahorrar mano de obra, en particular el desplazamiento de puestos de trabajo y el consiguiente desempleo. Estos temores se remontan al menos a comienzos del siglo XIX. Sin embargo, si miramos al pasado, los temores de que la automatización que aumenta la productividad de la mano de obra dejará forzosamente a las personas sin trabajo de manera masiva simplemente no se ven corroborados por la realidad histórica. Esto se debe a que la automatización de la agricultura forma parte del proceso de transformación estructural de las sociedades en virtud del cual el aumento de la productividad de la mano de obra agrícola libera gradualmente trabajadores agrícolas, permitiéndoles incorporarse a actividades rentables en otros sectores como la industria y los servicios. Durante esta transformación, la proporción de la población empleada en la agricultura lógicamente disminuye, mientras que se crean puestos de trabajo en otros sectores. Esto viene por lo general acompañado de cambios dentro de los sistemas agroalimentarios, en los que los sectores de las fases anteriores y posteriores evolucionan y se crean nuevos puestos de trabajo y nuevas oportunidades empresariales. Por este motivo, es fundamental reconocer que la agricultura constituye una parte esencial de los sistemas agroalimentarios más amplios.

En el informe se ponen de manifiesto los posibles beneficios de la automatización agrícola, que son numerosos y pueden contribuir a la transformación de los sistemas agroalimentarios, haciéndolos más eficientes, productivos, resilientes, sostenibles e inclusivos. La automatización puede aumentar la productividad de la mano de obra agrícola y la rentabilidad de la agricultura. Puede mejorar las condiciones laborales de los trabajadores agrícolas. Puede generar nuevas oportunidades de emprendimiento en las zonas rurales, que podrían resultar especialmente atractivas para la juventud rural.

Puede ayudar a reducir las pérdidas de alimentos y mejorar la calidad de los productos y su inocuidad. Puede también aportar beneficios en lo que se refiere a la sostenibilidad ambiental y la adaptación al cambio climático. Soluciones recientes que abarcan la agricultura de precisión y la introducción de equipo en pequeña escala, que a menudo es más adecuado para las condiciones locales que la mecanización motorizada asociada al uso de maquinaria pesada, pueden mejorar la sostenibilidad ambiental y la resiliencia al cambio climático y otras perturbaciones. Gracias a estos numerosos beneficios, la automatización agrícola también puede contribuir a alcanzar varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

No obstante, en el presente informe también se reconocen los riesgos y problemas relacionados con la automatización agrícola. Como ocurre con cualquier cambio tecnológico, la automatización de la agricultura conlleva perturbaciones de los sistemas agroalimentarios. Si la automatización es rápida y no se ajusta a las condiciones socioeconómicas y del mercado laboral locales, puede producirse efectivamente un desplazamiento de mano de obra —el resultado común que ha de evitarse—. Además, la automatización puede aumentar la demanda de trabajadores altamente cualificados y, al mismo tiempo, reducir la demanda de trabajadores no cualificados. Si los grandes productores agrícolas prósperos tienen más facilidad de acceso a la automatización que los productores más pequeños y pobres, se corre el riesgo de que la automatización agrave las desigualdades, algo que debe evitarse a toda costa. Si la automatización, sobre todo la mecanización basada en maquinaria pesada, no se gestiona debidamente y no se adapta bien a las condiciones locales, puede poner en peligro la sostenibilidad agrícola. Estos riesgos son reales y se reconocen y analizan en el presente informe.

Sin embargo, como también se indica en el informe, decir no a la automatización no es el camino a seguir. La FAO cree realmente que sin avances tecnológicos y un aumento de la productividad, no existe ninguna posibilidad de liberar a cientos de millones de personas de la pobreza, el hambre, la inseguridad alimentaria y la malnutrición. Rechazar la automatización puede suponer condenar a los trabajadores agrícolas a un futuro de productividad baja y remuneración escasa por su trabajo perennes. Lo que importa es la manera en la que el proceso de automatización se lleva a cabo en la práctica, no si este se produce o no. Debemos velar por que la automatización se realice de modo que sea inclusiva y promueva la sostenibilidad.

A lo largo de todo este informe, la FAO transmite el concepto de un cambio tecnológico responsable para que la automatización agrícola sea un éxito. ¿Qué entraña esto?

En primer lugar, la automatización debe formar parte de un proceso de transformación agrícola que discurra paralelamente a cambios de mayor alcance en la sociedad y los sistemas agroalimentarios, los facilite y se vea facilitada por estos. Para ello, es



esencial que la adopción de la automatización responda a incentivos reales. Así pues, las tecnologías que ahorran mano de obra pueden impulsar el proceso de transformación agrícola si responden a una creciente escasez de mano de obra y un aumento de los salarios rurales. Por otro lado, si se crean de forma artificial incentivos para la adopción de la automatización o de tecnologías de automatización específicas, por ejemplo, a través de subvenciones públicas —particularmente en contextos en los que la mano de obra es abundante—, la introducción de la automatización puede ser muy perjudicial y tener repercusiones socioeconómicas y en el mercado laboral negativas. Sin embargo, también es importante que las políticas públicas no obstaculicen la automatización, ya que esto podría condenar a los productores y trabajadores agrícolas a un futuro de productividad y competitividad perennemente bajas. En el presente informe se sostiene que la función que corresponde a los gobiernos es crear un entorno propicio que facilite la adopción de soluciones de automatización convenientes, en lugar de incentivar directamente soluciones específicas en contextos en los que podrían resultar inadecuadas o impedir de cualquier modo la adopción de la automatización.

Para mantener la coherencia con los ODS, la automatización ha de ser inclusiva. Debe ofrecer oportunidades para todos, desde los pequeños productores hasta las grandes explotaciones comerciales, y a grupos marginados como mujeres, jóvenes y personas con discapacidad. Deben superarse los obstáculos que dificultan la adopción de la automatización, sobre todo en el caso de las mujeres. Poner soluciones técnicas adecuadas a disposición de todas las categorías de productores supone hacer que las tecnologías sean neutrales respecto de la escala, esto es, hacerlas aptas para los productores de todas las escalas, o accesibles a todos a través de mecanismos institucionales tales como servicios compartidos. Potenciar las competencias digitales mediante educación y capacitación es asimismo esencial para facilitar la introducción y evitar brechas digitales basadas en la desigualdad de conocimientos y habilidades.

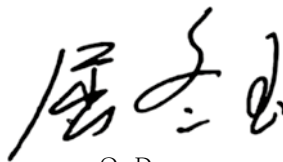
Para mejorar la sostenibilidad y ser realmente inclusivas y transformadoras, las soluciones de automatización deben adaptarse al contexto local, no solo en lo que respecta a las características de los productores, sino también a las condiciones biofísicas, topográficas, climáticas y socioeconómicas locales. Este informe es realista y no ofrece una única solución válida para todos los casos. La solución tecnológica más avanzada no es necesariamente la más apropiada en todas partes y para todos. Como muestran las pruebas presentadas, en algunas situaciones, tecnologías sencillas como maquinaria pequeña e incluso equipo de mano pueden generar importantes beneficios para los productores en pequeña escala y hacer posible la producción en terrenos accidentados. Incluso existen situaciones en las que los productores podrían ser capaces de pasar directamente a soluciones tecnológicas más avanzadas. Resulta esencial que los propios productores agrícolas elijan las tecnologías más adecuadas a

sus necesidades y que los gobiernos, por su parte, creen el entorno propicio que les permita hacerlo.

Por último, en el presente informe también se sostiene que la automatización agrícola debe contribuir a una agricultura más sostenible y resiliente. En el pasado, la utilización de maquinaria pesada a gran escala ha tenido a menudo efectos negativos en la sostenibilidad ambiental. Para hacer frente a este problema, es necesario adaptar la mecanización a maquinaria más pequeña y más ligera. Al mismo tiempo, la agricultura digital y la robótica que facilitan la agricultura de precisión ofrecen soluciones más eficientes en cuanto al uso de los recursos y más sostenibles desde un punto de vista ambiental. La investigación técnica y agronómica aplicada puede ayudar a encontrar soluciones que pueden conducir a nuevos avances hacia la sostenibilidad ambiental.

En el presente informe se analizan en detalle estas cuestiones y se presenta un examen objetivo y en profundidad de la automatización agrícola, se disipan los mitos infundados que la rodean y se sugieren formas de avanzar con vistas a la adopción de la automatización agrícola en diferentes contextos nacionales y locales. Se señalan esferas en las que sería fundamental realizar intervenciones en materia de políticas e inversiones para conseguir que la automatización agrícola contribuya al desarrollo inclusivo y sostenible.

La FAO cree firme y estratégicamente en la tecnología, la innovación y los datos, apoyados por la gobernanza, el capital humano y las instituciones adecuados, como aceleradores transversales e intersectoriales clave en todas sus intervenciones programáticas para acelerar las repercusiones y, al mismo tiempo, reducir al mínimo las desventajas. Sin duda, estos aceleradores catalizarán la transformación agrícola en todos los contextos. Tengo la esperanza de que este informe de la FAO pueda contribuir de manera constructiva al debate sobre políticas en esta esfera de gran relevancia para la consecución de los ODS.



Qu Dongyu  
Director General de la FAO

# RESUMEN

A lo largo de la historia, el cambio tecnológico ha permitido mejorar la productividad, los ingresos y el bienestar. Hoy en día, las soluciones tecnológicas son indispensables para alimentar a una población en continuo crecimiento frente a la limitación de las tierras agrícolas, el uso insostenible de los recursos naturales y el cambio climático. Estas soluciones son necesarias para hacer todos los sectores de la agricultura —producción de cultivos y ganadería, acuicultura, pesca y actividad forestal— más productivos y sostenibles, así como para incrementar la productividad de los sistemas agroalimentarios.

La automatización de la agricultura ha impulsado la transformación agrícola, al incrementar la productividad y favorecer la reasignación de la mano de obra. En este sentido, la mecanización motorizada ha permitido automatizar la ejecución de las actividades agrícolas, mientras que, más recientemente, las tecnologías digitales han creado nuevas oportunidades para automatizar las decisiones que preceden a la ejecución de las actividades físicas.

Los temores habituales de que la automatización conduce a un aumento del desempleo, aunque comprensibles, en general no son corroborados por la realidad histórica. En conjunto, la automatización alivia la escasez de mano de obra y puede hacer la producción agrícola más resiliente, mejorar la calidad de los productos, aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, promover el empleo decente y mejorar la sostenibilidad ambiental. Las repercusiones socioeconómicas negativas de la automatización agrícola, como el aumento del desempleo, suelen producirse cuando la automatización no se adapta a las necesidades locales específicas. Los riesgos de repercusiones negativas pueden contrarrestarse facilitando la transición de los trabajadores agrícolas a otras oportunidades de empleo, abordando los obstáculos que impiden que los productores en pequeña escala pobres participen en los beneficios y evitando las políticas que subvencionan la automatización en contextos de abundancia de mano de obra y bajos salarios rurales.

## AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA: LAS OPORTUNIDADES ABUNDAN, PERO NO ESTÁN EXENTAS DE DIFICULTADES

Cualquier actividad relacionada con la agricultura consta de tres fases: diagnóstico, toma de decisiones y ejecución (Figura 1). La mecanización motorizada automatiza la ejecución de actividades agrícolas como la labranza o el ordeño. Con las tecnologías de automatización digital, es posible automatizar también el diagnóstico y la toma de decisiones. Estas tecnologías aumentan la precisión y mejoran la productividad, con posibles beneficios en cuanto a la sostenibilidad ambiental y la resiliencia. La evolución tecnológica en la agricultura puede resumirse como un paso de las herramientas manuales a la tracción animal, a la mecanización motorizada, al equipo digital y, finalmente, a la robótica con inteligencia artificial (IA) (Figura 2).

En este contexto, en el presente informe se define la automatización agrícola como sigue:

el uso de maquinaria y equipo en las actividades agrícolas para mejorar el diagnóstico, la toma de decisiones o la ejecución, reduciendo el trabajo agrícola pesado o mejorando la puntualidad, y posiblemente la precisión, de las actividades agrícolas.

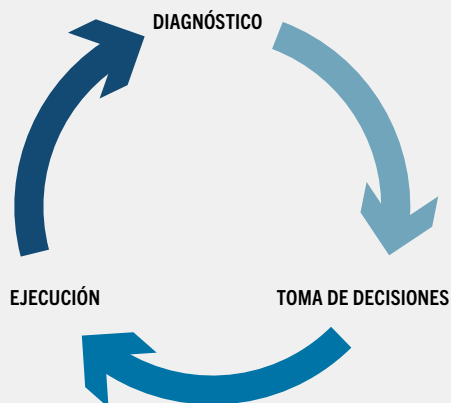
La automatización agrícola puede aumentar la productividad y permitir una gestión más cuidadosa de los cultivos, el

ganado, la acuicultura y la actividad forestal. Puede asimismo proporcionar mejores condiciones de trabajo y mayores ingresos, reducir la carga de trabajo de la agricultura y generar nuevas oportunidades empresariales en el medio rural. Las tecnologías que se aplican fuera de las explotaciones agrícolas pueden reducir aún más la pérdida y el desperdicio de alimentos, mejorar la inocuidad de los alimentos y facilitar la adición de valor.

En muchos países, la disminución de la disponibilidad de mano de obra rural que se refleja en el aumento de los salarios agrícolas es uno de los principales factores determinantes de la automatización agrícola (Figura 3). La creciente preocupación de los consumidores por la calidad de los alimentos y por cuestiones relacionadas con el medio ambiente también está estimulando la inversión en tecnologías digitales. Lo mismo ocurre con las dificultades relacionadas con el manejo del ganado y el bienestar de los animales que se derivan del creciente tamaño de los rebaños en la producción ganadera.

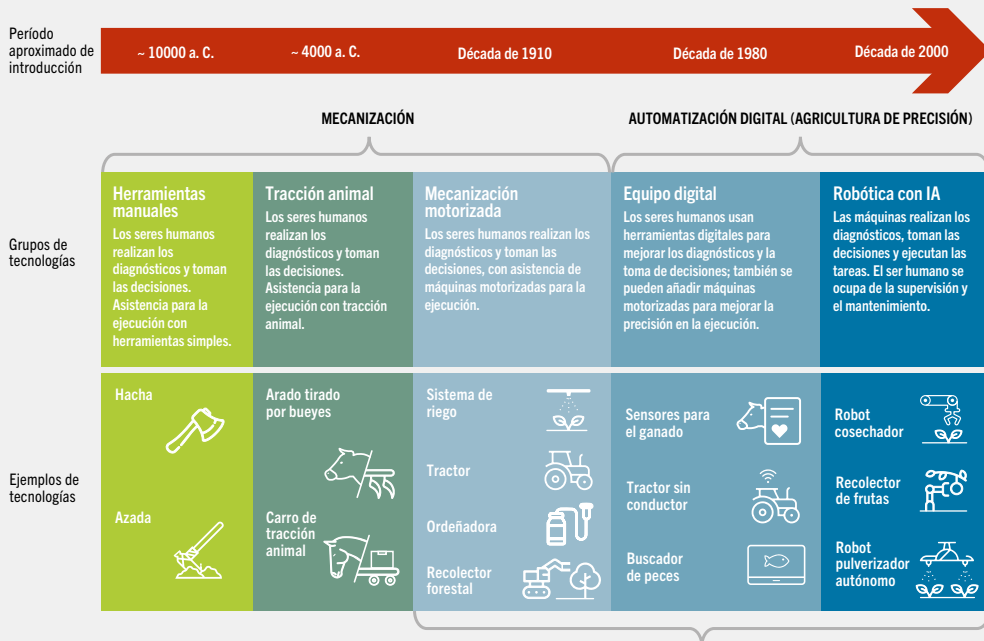
Por otro lado, la automatización agrícola puede conllevar el riesgo de exacerbar las desigualdades sociales, ya que los productores más grandes y con más instrucción tienen más capacidad para invertir en nuevas tecnologías o para reciclarse y adquirir nuevas competencias. Las mujeres y los jóvenes pueden enfrentarse a obstáculos especialmente importantes, por ejemplo, para obtener educación y capacitación de calidad, así »

**FIGURA 1** CICLO DE TRES FASES DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN



FUENTE: Elaboración de la FAO para este informe.

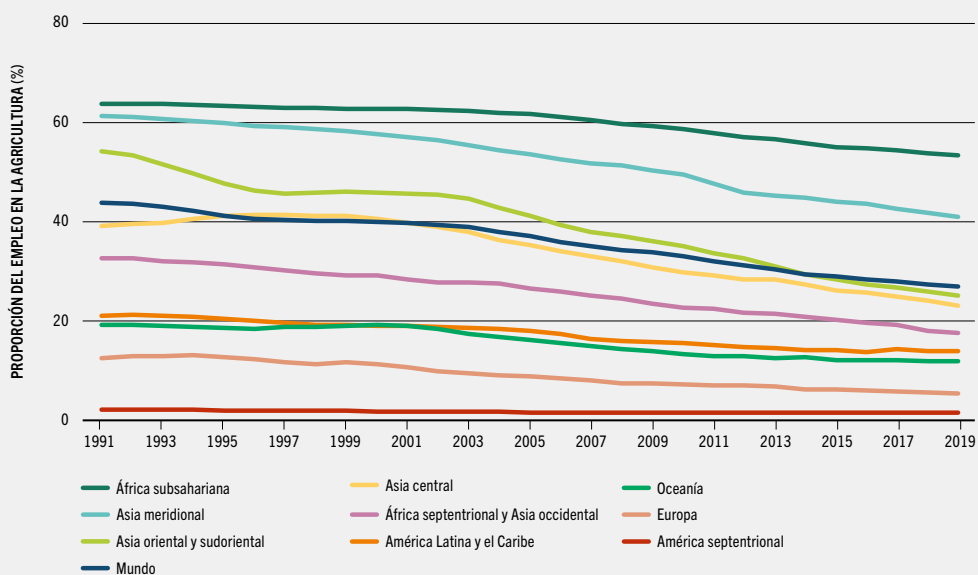
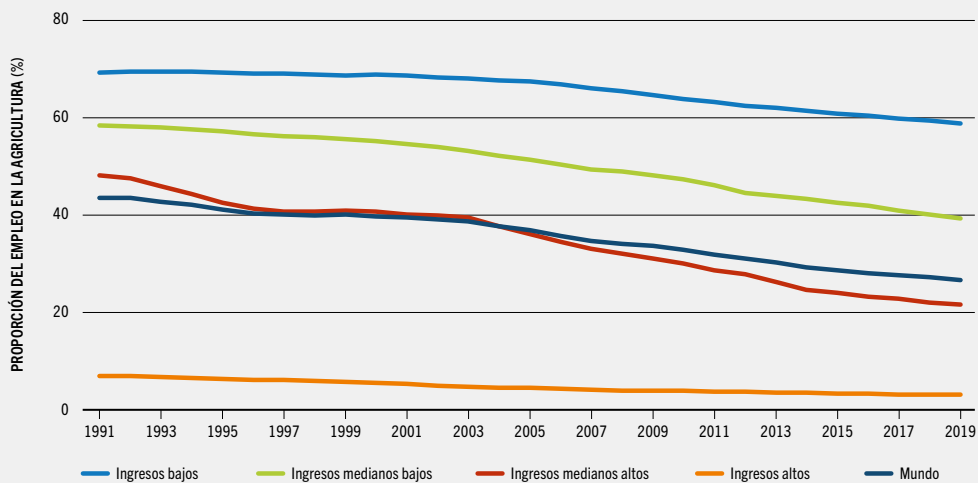
**FIGURA 2** EVOLUCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA



LA AUTOMATIZACIÓN COMO TEMA CENTRAL DEL INFORME

FUENTE: Elaboración de la FAO para este informe.

**FIGURA 3** PROPORCIÓN DEL EMPLEO EN LA AGRICULTURA RESPECTO DEL EMPLEO TOTAL POR GRUPO DE INGRESOS (ARRIBA) Y REGIÓN (ABAJO), 1991-2019



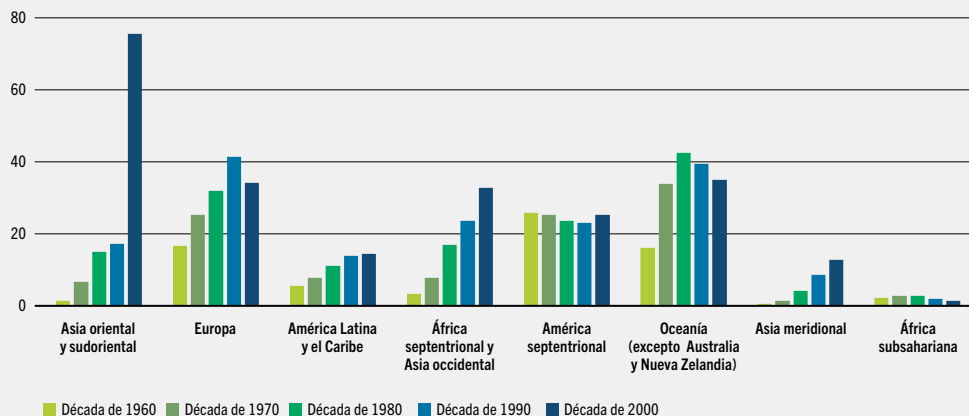
FUENTE: FAO, 2022.

» como para tener acceso a la tierra, al crédito y a los mercados. Además, se prevé que la automatización reduzca los empleos que entrañan tareas rutinarias, como la siembra y la cosecha, pero que aumente los empleos cualificados. En los países con una fuerza de trabajo rural numerosa, este cambio en el empleo supone el riesgo de acentuar las desigualdades. Para superar estas dificultades, es necesario reducir los obstáculos para la adopción —que enfrentan en particular los pequeños productores, las mujeres y los jóvenes— a fin de conseguir que las soluciones automatizadas sean accesibles a los productores agrícolas de todas las escalas. Esto puede lograrse mediante innovaciones tecnológicas que adapten la automatización a las condiciones de los pequeños productores o mediante arreglos institucionales innovadores, como los activos compartidos o los servicios de alquiler de maquinaria, que ponen en contacto a los propietarios de equipo con los pequeños productores, que pagan una tarifa por un servicio de automatización en lugar de comprar la maquinaria.

La dependencia de la automatización agrícola respecto de maquinaria pesada también puede poner en riesgo la sostenibilidad ambiental y contribuir a la deforestación, el monocultivo de tierras agrícolas, la pérdida de biodiversidad, la degradación de las tierras y la erosión del suelo. Sin embargo, algunos avances recientes en la automatización, especialmente en equipo pequeño basado en la IA, pueden invertir algunos de estos efectos negativos.

## COMPRENDER EL PASADO Y MIRAR HACIA EL FUTURO

La mecanización motorizada ha aumentado considerablemente en todo el mundo, aunque solo existen datos mundiales fiables, con una amplia cobertura de países, sobre los tractores y únicamente hasta 2009 (Figura 4). El uso de tractores fue una de las innovaciones más influyentes del siglo XX; se inició en los Estados Unidos de América entre 1910 y 1960 y se extendió al Japón y Europa después de 1955. Más tarde, muchos países de Asia y América Latina experimentaron un progreso considerable en la introducción de maquinaria motorizada, además de la aparición de sectores de fabricación de maquinaria agrícola en algunos países. Con el aumento de los mercados de alquiler de maquinaria, su introducción se ha generalizado y ha facilitado el acceso de los pequeños productores. Sin embargo, la introducción de tractores se ha estancado en el África subsahariana en los últimos decenios, y las herramientas manuales ligeras siguen siendo el principal tipo de equipo utilizado. Los esfuerzos de promoción de la mecanización realizados durante las décadas de 1960 y 1970 (por ejemplo, proporcionando maquinaria subvencionada y creando explotaciones estatales), resultaron costosos y en su mayoría fracasaron debido a problemas de gobernanza. Esto está cambiando con la reaparición de la agricultura en la agenda de desarrollo de África, que ha reavivado el interés en la automatización.

**FIGURA 4** TRACTORES EN USO POR 1 000 HA DE TIERRA CULTIVABLE

NOTAS: Los tractores se refieren a la totalidad de tractores de ruedas, de oruga y de cadenas que se utilizan en la agricultura. Se tuvo en cuenta un cuarto tipo de tractor (tractor a pie) para un subconjunto de países a partir de 2000. Solo se tomó en consideración a los países que proporcionaron datos sistemáticamente entre 1961 y 2009 (en total, 108 países). Se omitió Asia central debido a la falta de datos. El conjunto completo de países puede consultarse en el Anexo 2 del informe, en el que se incluyen los 33 países para los que se tuvo en cuenta el cuarto tipo (tractor a pie) a partir de 2000.

FUENTE: FAO, 2021.

Desde la década de 1970, las tecnologías digitales han llegado a la agricultura a través de diversas aplicaciones (Cuadro 2). Al principio, se trataba de tecnologías sencillas de ganadería de precisión que gestionaban los animales mediante la identificación electrónica, lo que luego allanó el camino a los robots de ordeño en la década de 1990. Al mismo tiempo, empezaron a aparecer herramientas digitales incorporadas a la mecanización, como maquinaria con sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS), que facilitaron el guiado automático de tractores, esparcadoras de

fertilizantes y pulverizadoras de plaguicidas. Más recientemente, dispositivos no incorporados como los teléfonos inteligentes informan a los productores mediante sensores, cámaras de alta resolución y diversas aplicaciones integradas en los dispositivos. Estas tecnologías pueden reducir los costos, elevar la productividad, aumentar la flexibilidad de los horarios de trabajo y mejorar la calidad de vida.

Aún más avanzadas son las soluciones del internet de las cosas (IdC), que se utilizan, por ejemplo, para controlar y automatizar »



**CUADRO 2 SELECCIÓN DE HITOS DE LA AUTOMATIZACIÓN DIGITAL EN LA AGRICULTURA**

Año	Tecnología o actividad	Empresa u organización	País	Referencia
1974	ID electrónica para el ganado	Universidad del Estado de Montana	Estados Unidos de América	Hanton y Leach, 1974
1983	Orden ejecutiva por la que se autorizó el uso civil del GPS	Gobierno de los Estados Unidos	Estados Unidos de América	Brustein, 2014 Rip y Hasik, 2002
	Aplicación de fertilizantes y plaguicidas con drones	Yamaha	Japón	Sheets, 2018
1987	Aplicación de fertilizantes con TDV controlada por ordenador	Soil Teq	Estados Unidos de América	Mulla y Khosla, 2016
1992	Robot de ordeño	Lely	Países Bajos	Lely, 2022 Sharipov <i>et al.</i> , 2021
1997	Equipo agrícola guiado mediante GNSS	Beeline	Australia	Rural Retailer, 2002
	N-Sensor	Yara	Noruega	Reusch, 1997
2006	Controladores de secciones de pluma de pulverizadora automatizada	Trimble	Estados Unidos de América	Trimble, 2006
2009	Corte automático de hileras de siembra	Ag Leader	Estados Unidos de América	Ag Leader, 2022
2011	Robot deshierbador	Ecorobotix Naïo Technologies	Suiza Francia	Ecorobotix, 2022 Naïo, 2022
2013	Sistema de asistencia al operador para cosechadoras trilladoras	Claas	Alemania	Claas, 2022
2017	Primera producción de cultivos totalmente autónoma	Universidad Harper Adams	Reino Unido	Hands Free Hectare, 2018
2018	Recolector de granos autónomo	Smart Ag	Estados Unidos de América	Smart Ag, 2018
2022	Tractor de gran escala autónomo	John Deere	Estados Unidos de América	John Deere, 2022

NOTAS: GPS: sistema de posicionamiento mundial; TDV: tecnología de dosis variable; GNSS: sistema mundial de navegación por satélite.  
FUENTE: Lowenberg-DeBoer, 2022.

» (en parte) las decisiones sobre el cuidado de los cultivos, el ganado o los peces. Los servicios digitales también incluyen servicios de activos compartidos, que conectan a los propietarios de equipo con los agricultores que lo necesitan.

Las tecnologías digitales también ofrecen posibilidades a la agricultura de precisión no mecanizada. Hace mucho tiempo ya que se elaboraron metodologías para la aplicación manual de fertilizantes en sitios específicos (por ejemplo, la tecnología de dosis variable para los fertilizantes del arroz), y en varios países de ingresos bajos de África y Asia se dispone de escáneres de suelo manuales. Los agricultores no mecanizados de Asia y África también utilizan servicios de vehículos aéreos no tripulados (esto es, drones) y el GNSS para medir la superficie de los campos y para delimitarlos, respectivamente.

## EL ESTADO ACTUAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE AUTOMATIZACIÓN DIGITAL Y LA ROBÓTICA EN LA AGRICULTURA

Las aplicaciones de la automatización digital y la robótica en la agricultura son extremadamente diversas (Figura 5). Los teléfonos inteligentes, equipados con diversos sensores y cámaras de alta resolución, son los aparatos más accesibles para los productores (en especial, los pequeños productores) en los países de ingresos bajos y medianos. Sin embargo, la escasa alfabetización digital

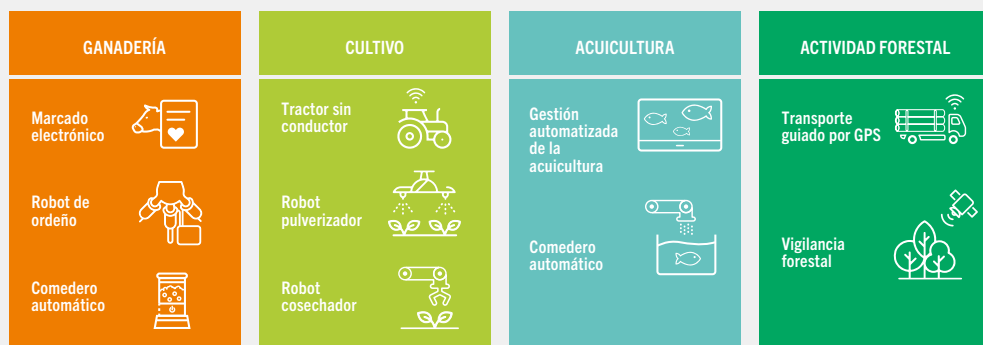
en las zonas rurales, la falta de tecnologías adaptadas a los pequeños productores y el costo relativamente elevado de estas tecnologías siguen siendo los mayores obstáculos para su introducción.

Más recientemente, se ha empezado a comercializar tecnologías avanzadas como los robots autónomos para cultivos. Se utilizan drones para recopilar información y automatizar la aplicación de insumos, pero su uso suele estar estrictamente reglamentado.

En el sector de la acuicultura, la automatización va en aumento, y en los bosques, gran parte del trabajo de recolección de madera está ya muy mecanizado y robots móviles, combinados con la realidad virtual y la teledetección, están preparando el camino para máquinas automáticas avanzadas. Además, se utiliza la teledetección para controlar la deforestación. También hay potencial para la automatización en la agricultura de ambiente controlado, que incluye la agricultura en interiores y la agricultura vertical.

Existen muchas soluciones tecnológicas ya disponibles, y en la dirección que toman y su índice de adopción influyen considerablemente las decisiones en materia de políticas. Los gobiernos deben facilitar el acceso a estas tecnologías —en particular para los pequeños productores, las mujeres, los jóvenes y otros grupos vulnerables y marginados— y asegurarse de que se adapten a las necesidades específicas de los productores.

**FIGURA 5** SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS DIGITALES Y ROBÓTICA CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL POR SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA



FUENTE: Elaboración de la FAO para este informe.

Idealmente, los gobiernos deberían crear condiciones equitativas respecto de las tecnologías innovadoras con objeto de permitir al sector privado satisfacer la demanda de automatización.

## LA MECANIZACIÓN MOTORIZADA SIMPLE TODAVÍA DESEMPEÑA UN PAPEL IMPORTANTE

Aunque las tecnologías digitales y la robótica prometen grandes cosas, la mecanización motorizada puede generar aún muchos beneficios, como aumento de los ingresos, reducción de los costos, disminución del trabajo pesado y liberación de mano de obra doméstica. También puede mejorar la inocuidad de

los alimentos, gracias a las tecnologías de conservación y almacenamiento, y la resiliencia, en particular a las perturbaciones climáticas, ya que permite a los agricultores completar las actividades agrícolas más rápidamente y tener más flexibilidad a fin de adaptar las actividades a los cambios en las condiciones meteorológicas. También puede haber beneficios indirectos para la economía en general. Estos pueden reflejarse en una mayor demanda de bienes y servicios no agrícolas por parte de los hogares agrícolas a medida que mejora la productividad de la mano de obra, así como la expansión de la economía no agrícola a medida que los trabajadores dejan la agricultura y pasan a sectores con mayor productividad de la mano de obra.

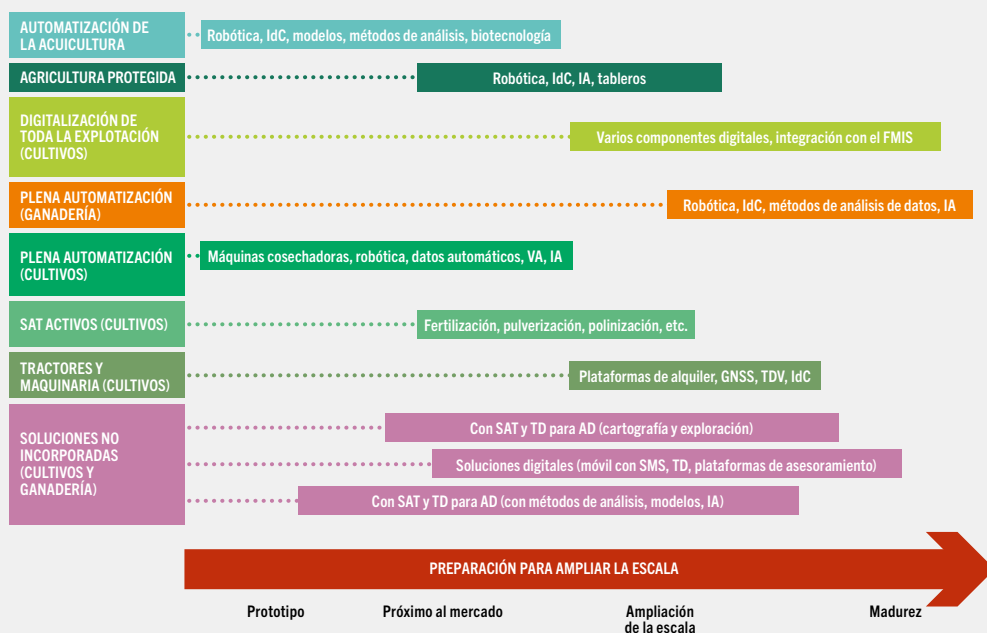
Por consiguiente, todavía hay margen para aumentar el uso de la mecanización motorizada en algunos contextos. En los países de ingresos bajos y medianos, los pequeños productores pueden beneficiarse de las máquinas pequeñas, como los tractores de dos ruedas, que son menos costosas y más sostenibles desde el punto de vista ambiental que la maquinaria pesada. Por ello, la mecanización agrícola ocupa un lugar destacado en la agenda política de muchos países de ingresos bajos y medianos. Este es el caso, especialmente, del África subsahariana, donde la mecanización agrícola se descuidó durante algún tiempo.

Las tecnologías manuales y la tracción animal también pueden desempeñar todavía un papel importante. La tracción animal puede ser una importante fuente de energía para las explotaciones agrícolas pequeñas y fragmentadas, y herramientas manuales avanzadas pueden reducir la necesidad de energía humana. Tanto los animales de tiro como las herramientas manuales avanzadas pueden ayudar a remediar la escasez de mano de obra y facilitar un mayor rendimiento de los cultivos y la expansión de las tierras en muchas zonas. En muchos casos, son la opción más viable para aumentar el suministro de energía.

## ARGUMENTOS A FAVOR DE LA INVERSIÓN EN AUTOMATIZACIÓN DIGITAL

El argumento a favor de la inversión en tecnología agrícola se basa en la posible utilidad para el sector privado. Los proveedores y productores solo asumirán el compromiso necesario si los beneficios son superiores a los costos. En el caso de algunas tecnologías y en determinadas condiciones, los costos de inversión pueden superar los beneficios privados; por otro lado, puede haber importantes beneficios para la sociedad en general. En este caso, la intervención pública puede armonizar los beneficios privados con los intereses de la sociedad en su conjunto.

Dada la escasez de datos, se utilizaron 27 estudios de casos, basados en entrevistas con proveedores de servicios de automatización digital, para arrojar luz sobre el argumento a favor de la automatización digital de la agricultura. Los estudios de casos abarcan todas las regiones del mundo y todos los sistemas de producción agrícola (cultivos, ganadería, acuicultura y agroforestería) y representan diferentes etapas de preparación (muchas soluciones aún se encuentran en las primeras etapas de desarrollo y comercialización) (Figura 6). Los resultados revelan que solo 10 de los 27 proveedores de servicios son sostenibles desde el punto de vista financiero. Estos 10 proveedores, en su mayoría ubicados en países de ingresos altos, utilizan soluciones que están en su etapa de madurez (es decir, han sido ampliamente adoptadas) y prestan

**FIGURA 6** PREPARACIÓN PARA AMPLIAR LA ESCALA DE TECNOLOGÍAS DE AUTOMATIZACIÓN DIGITAL A LO LARGO DEL ESPECTRO


NOTAS: SAT: sistema de aeronave no tripulada; IdC: internet de las cosas; IA: inteligencia artificial; FMIS: sistema de gestión de la información sobre explotaciones agropecuarias; VA: visión artificial; GNSS: sistema mundial de navegación por satélite; TDV: tecnología de dosis variable; TD: teledetección; AD: apoyo a la toma de decisiones. La preparación para ampliar la escala se divide en cuatro etapas: i) prototipo: el concepto se ha ensayado y demostrado en pruebas limitadas; ii) próximo al mercado: la solución funciona en condiciones reales de producción y el proveedor de servicios está investigando un modelo de negocio, o más de uno, para llegar a los clientes; iii) ampliación de la escala: varios usuarios o clientes finales han adoptado la solución y hay un modelo de negocio rentable (o más de uno), y iv) madurez: la solución cuenta con una base de clientes específica, hay un modelo de negocio rentable (o más de uno) y la demanda está creciendo. FUENTE: Ceccarelli *et al.*, 2022.

servicios principalmente a grandes productores. Más de un tercio de los estudios de casos sugieren que los agricultores se benefician de estas soluciones mediante aumentos de la productividad y la eficiencia y nuevas oportunidades de mercado. En conjunto,

los resultados indican que los argumentos a favor de las tecnologías de automatización digital aún no están maduros, en parte porque muchas de estas tecnologías se encuentran aún en la etapa de los prototipos, pero también porque existen graves obstáculos para su

adopción, especialmente en los países de ingresos bajos y medianos.

Los estudios de casos permiten extraer varias enseñanzas importantes. Los factores clave para la adopción son, en primer lugar, el conocimiento de la capacidad de una solución para realizar actividades agrícolas con éxito y, en segundo lugar, la capacidad de los agricultores para manejar la solución. Los obstáculos más frecuentes son la falta de alfabetización digital, así como la conectividad y la electrificación limitadas. A ello se suma a menudo la reticencia al cambio, generalmente relacionada con el envejecimiento de la población agrícola, razón por la cual se considera que los jóvenes agricultores son fundamentales en la transformación hacia la automatización. Las condiciones del mercado son otro factor clave: una fuerte competencia entre los productores los incita a asumir más riesgos y adoptar nuevas tecnologías que prometen mayor productividad y eficiencia. Los factores limitantes pueden ser la reglamentación de las importaciones de tecnología, la ausencia de políticas de intercambio de datos y la insuficiencia de las políticas y los incentivos públicos. Por otro lado, cuando están bien proyectados, los reglamentos o el apoyo público pueden ser un fuerte motor para la adopción.

## **LA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA PROMETE BENEFICIOS AMBIENTALES, PERO ES NECESARIO SEGUIR INVESTIGANDO**

En los países de ingresos altos, pero también en muchas explotaciones comerciales de países de ingresos bajos y medianos, la agricultura ya está muy mecanizada, principalmente mediante el uso de máquinas grandes. Sin embargo, este tipo de mecanización ha ocasionado erosión del suelo, deforestación y pérdida de biodiversidad, todo lo cual contribuye a reducir la resiliencia. Las innovaciones de las tecnologías de automatización pueden ayudar a abordar estas dificultades. Por ejemplo, la mecanización motorizada puede adaptarse a maquinaria más pequeña y ligera (como tractores pequeños de cuatro ruedas y de dos ruedas). Pueden reducir al mínimo la pérdida de biodiversidad, ya que no requieren un desmonte y una remodelación importantes de los campos. Otras máquinas motorizadas pequeñas, como las deshierbadoras propulsadas y las trilladoras móviles, también pueden producir beneficios en cuanto a la igualdad de género, ya que las mujeres pueden manejarlas con facilidad.

Las tecnologías de automatización digital que apoyan la agricultura de precisión también pueden facilitar la adopción de prácticas sostenibles, como la agricultura de conservación. Hay ejemplos de éxito en el uso de ordenadores y del IdC para automatizar invernaderos, lo que permite ahorrar agua y otros insumos. Los

enjambres de pequeños robots, que ya son económicamente viables en determinadas circunstancias, permiten reducir el uso de plaguicidas y herbicidas, optimizar el uso de otros insumos y reducir la compactación del suelo.

Estos beneficios ambientales son actualmente específicos de cada lugar; asimismo, muchas soluciones están todavía en las primeras etapas de desarrollo y comercialización. En consecuencia, la investigación y la inversión en su desarrollo deberían potenciarse. La transición a energías renovables también es importante y puede ofrecer nuevas oportunidades para impulsar la automatización, especialmente en las zonas rurales remotas; sin embargo, también en este caso es necesario investigar qué soluciones de energía renovable sin conexión a la red pueden alimentar más eficazmente cada tipo de maquinaria.

## **REPERCUSIONES DE LA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA SOBRE LOS TRABAJADORES Y LOS CONSUMIDORES**

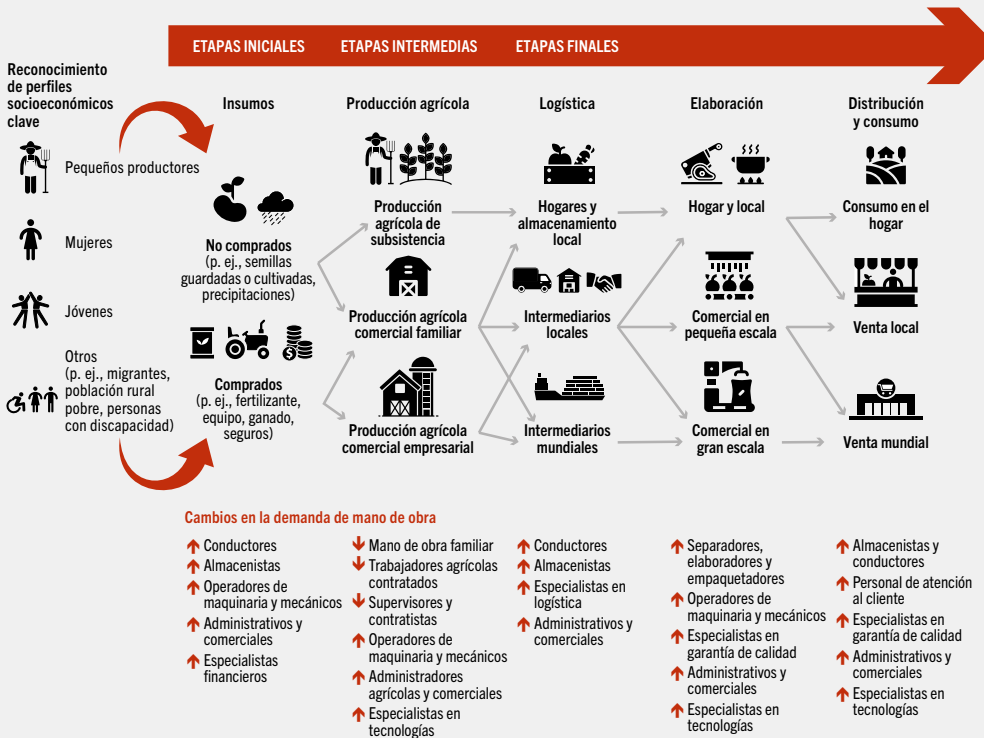
Resulta difícil medir las repercusiones generales de la automatización agrícola en el empleo porque ello requiere grandes cantidades de datos que permitan el seguimiento de todas las transformaciones y la reubicación conexa de trabajadores, no solo en las actividades agrícolas, sino también en las etapas anteriores y posteriores. A medida que se desarrolla la transformación agrícola, la

gente abandona la agricultura para buscar trabajos mejor pagados y la proporción de personas empleadas en la agricultura disminuye. Cuando todos los nodos de los sistemas agroalimentarios cambian simultáneamente, es casi imposible atribuir las repercusiones socioeconómicas y en el mercado de trabajo a casos específicos de automatización agrícola.

Las posibles repercusiones de la automatización agrícola sobre el empleo en el sector son diversas (Figura 7). Es probable que la demanda de mano de obra poco cualificada disminuya a medida que se automatizan muchas tareas. Mientras tanto, la automatización aumenta la demanda de trabajadores cualificados. Si se consideran los sistemas agroalimentarios en su conjunto, la automatización podría disminuir el empleo estacional con salarios bajos en las explotaciones agrícolas, pero podría aumentar el empleo mejor pagado y menos estacional en las etapas anteriores y posteriores.

Las implicaciones de la automatización también pueden ser diferentes en distintos tipos de explotaciones. En el caso de los pequeños agricultores y los agricultores de subsistencia, la automatización puede liberar mano de obra familiar, pero también puede facilitar la expansión de la producción. En las explotaciones comerciales familiares, puede liberar mano de obra familiar y reducir la demanda de mano de obra contratada, pero si las actividades agrícolas comerciales se expanden como

**FIGURA 7 UN ENFOQUE BASADO EN SISTEMAS AGROALIMENTARIOS DE LAS REPERCUSIONES DE LA AUTOMATIZACIÓN EN EL EMPLEO**



FUENTE: Elaboración de la FAO basada en Charlton, Hill y Taylor, 2022.

resultado de la automatización, puede haber más necesidad de mano de obra asalariada. Las explotaciones comerciales de empresas son las más automatizadas, con el correspondiente descenso de las necesidades de mano de obra en las explotaciones.

Si la adopción de la automatización se ve estimulada por el aumento de los salarios y la escasez de mano de obra, tenderá a aumentar la productividad de la mano de obra y los salarios sin provocar desempleo. Si la automatización se produce en lugares donde abunda la mano de obra, y se incentiva mediante



subvenciones que la abaratan artificialmente, existe un serio riesgo de generar desempleo, en detrimento especialmente de las personas menos cualificadas, que no pueden encontrar fácilmente otro empleo.

La automatización agrícola tiene repercusiones socioeconómicas significativas para los consumidores, ya que se traduce en una reducción de los costos de los alimentos, la creación de nuevas oportunidades empresariales beneficiosas para ellos —por ejemplo, al posibilitar el resurgimiento de cultivos autóctonos ricos en nutrientes cuya automatización resulta dificultosa— y en una reducción sustancial de los costos de producción de los alimentos orgánicos, que actualmente exigen mucha mano de obra.

## **EL PROCESO DE AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA DEBE SER INCLUSIVO**

La automatización agrícola debe implicar a todos los actores, en particular los agricultores, pastores, pescadores y silvicultores en pequeña escala, además de trabajadores agrícolas asalariados, microempresas y trabajadores informales, personas sin tierra y trabajadores migrantes. La participación de las mujeres, los jóvenes y las personas con discapacidad es especialmente importante.

Las implicaciones de género de la automatización de las explotaciones agrícolas son complejas. Las mujeres van

a la zaga de los hombres en la adopción de tecnología agrícola debido a los obstáculos para el acceso al capital, los insumos y los servicios (por ejemplo, extensión, crédito) y, en algunos contextos, a las normas culturales. Los encargados de formular las políticas deben promover el desarrollo de tecnología, la difusión y la prestación de servicios teniendo en cuenta las cuestiones de género.

Los jóvenes agricultores parecen ser los primeros en abrazar el proceso. La automatización agrícola promete nuevos tipos de trabajos cualificados que exigen un programa de desarrollo del capital humano y de creación de capacidades, centrado en los jóvenes, que facilite también la transición de las actividades manuales poco cualificadas a tecnologías más complejas. Sin embargo, los temores de que la automatización conduzca a un desempleo masivo son infundados. La automatización de los trabajos agrícolas, con la consiguiente evolución de la mano de obra agrícola, es un proceso gradual que difiere en función del lugar, los cultivos y las tareas agrícolas. Los incentivos para adoptar la automatización que ahorra mano de obra son mayores en relación con las tareas agrícolas específicas que requieren mucha mano de obra y que pueden automatizarse fácilmente a bajo costo. Mientras algunas tareas se automatizan, otras seguirán precisando mucha mano de obra.

Si las tecnologías de automatización disponibles no son neutrales en cuanto a la escala, existe el riesgo de que los

pequeños productores carezcan de las economías de escala necesarias para seguir siendo competitivos. La clave está en la generalización de la automatización neutral en cuanto a la escala y de bajo costo. Limitar la automatización para preservar el empleo y los ingresos agrícolas solo hará que las explotaciones agrícolas sean menos competitivas y no puedan ampliar su producción. Sin tecnologías que mejoren la productividad de la mano de obra, las perspectivas de sacar de la pobreza y la inseguridad alimentaria a los trabajadores agrícolas pobres son escasas.

## PLAN DETALLADO PARA UNA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA EFICIENTE, SOSTENIBLE E INCLUSIVA

La automatización agrícola tiene un gran potencial para contribuir a un desarrollo rural sostenible e inclusivo basado en una agricultura intensiva pero sostenible. Sin embargo, el aprovechamiento de este potencial no es automático y depende del contexto socioeconómico, así como del entorno de políticas e institucional en el que se desarrolla el proceso de automatización agrícola. Los países que establezcan la infraestructura física, económica, jurídica y social necesaria para la automatización digital saldrán beneficiados.

Como todo cambio tecnológico, la automatización agrícola conlleva inevitablemente algunas perturbaciones y, si bien genera beneficios, también da

lugar a compensaciones. El informe propone una serie de posibles opciones en materia de políticas, instituciones, legislación e inversiones. En conjunto, forman un plan para velar por que la automatización agrícola contribuya a conseguir sistemas agroalimentarios eficientes, productivos, sostenibles, resilientes e inclusivos (Figura 8). Algunas opciones se centran en la creación de un entorno propicio para los negocios, en particular en lo que respecta a las inversiones en tecnologías de automatización. Estas deben complementarse con reglamentos para garantizar que conduzcan a la sostenibilidad ambiental y la resiliencia al clima. Por último, se deben establecer políticas y programas para que el proceso dé resultados para todos, especialmente para los grupos marginados.

Los gobiernos también tendrán que equilibrar las compensaciones entre los objetivos económicos, ambientales y sociales y dar prioridad a las medidas en función de los desafíos a los que se enfrentan y sus capacidades nacionales. Un ámbito transversal fundamental para la intervención gubernamental es el apoyo relacionado con servicios generales, que representa las medidas gubernamentales que, sin distorsionar los incentivos ni favorecer a determinados actores sobre otros (o a determinados sectores dentro de la agricultura), crean un entorno propicio para hacer negocios en la agricultura y los sistemas agroalimentarios.

**FIGURA 8** ESQUEMA DE LAS OPCIONES EN MATERIA DE POLÍTICAS PARA APROVECHAR LA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA DE FORMA RESPONSABLE



FUENTE: Elaboración de la FAO para este informe.

## LAS POLÍTICAS E INTERVENCIONES ORIENTADAS A LA AGRICULTURA TAMBIÉN AFECTAN A LA ADOPCIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN

Las políticas específicas para la agricultura pueden ayudar a superar los obstáculos para su adopción, especialmente para los pequeños productores. Los gobiernos pueden influir en la adopción a través de políticas crediticias orientadas directamente a la automatización de la agricultura. Los préstamos para la inversión —respaldados por garantías basadas en contratos, sistemas de garantía de préstamos, grupos de responsabilidad conjunta, arrendamiento con opción a compra y donaciones de contrapartida— son la solución más común para financiar la automatización. Además, las subvenciones específicas que no distorsionan los mercados pueden desempeñar una función importante. La mejora de la seguridad de la tenencia de la tierra es esencial, ya que la inseguridad de la tenencia de la tierra restringe el acceso de los productores al crédito porque no pueden utilizar los títulos de propiedad como garantía. La reducción de los derechos de importación sobre la maquinaria, el equipo digital y las piezas de repuesto, así como la mejora de los procedimientos aduaneros, también pueden contribuir a reducir los costos de transacción asociados a las tecnologías de automatización.

Es preciso desarrollar el capital humano para superar el analfabetismo digital, por ejemplo, a través de centros de formación profesional. Deben reforzarse los conocimientos y las competencias de los fabricantes, los propietarios, los operadores, los técnicos y los agricultores, con los jóvenes como un objetivo estratégico. La mejora de los servicios de extensión agrícola y asesoramiento rural puede facilitar la adopción. Los servicios públicos de extensión siempre han desempeñado un papel importante con miras al logro de una automatización agrícola inclusiva. Sin embargo, la escasez de personal de extensión con la capacitación adecuada es una limitación importante en la mayoría de los países de ingresos bajos y medianos.

Los gobiernos pueden financiar la investigación y el desarrollo, o bien llevarlos a cabo, en particular con la finalidad de hallar soluciones de automatización adaptadas a las necesidades locales y a las de los pequeños productores. Un área importante de investigación es la evaluación de los efectos de las soluciones de agricultura de precisión en cuanto a su rentabilidad, sostenibilidad ambiental e inclusividad. Es necesario centrar la atención tanto en la maquinaria pequeña como en las soluciones digitales de baja tecnología —más adecuadas para las condiciones locales y las explotaciones pequeñas—, como los sistemas de respuesta vocal interactiva, el servicio suplementario de datos no estructurados y el servicio de mensajes cortos (SMS).

Por último, los gobiernos deben elaborar normas de garantía de calidad y seguridad, que pueden ser gestionadas por organizaciones públicas, del mercado y del tercer sector. Las leyes y normas de seguridad de la automatización deben basarse en una consulta con todas las partes interesadas y ser transparentes a fin de garantizar el cumplimiento.

## **POLÍTICAS, INSTITUCIONES E INVERSIONES AJENAS A LOS SISTEMAS AGROALIMENTARIOS**

Las políticas generales y las inversiones que no están dirigidas específicamente a los sistemas agroalimentarios pueden conformar el entorno propicio, con inclusión de la infraestructura. La mejora de la infraestructura viaria deficiente puede reducir los costos de transacción relativos al acceso a la maquinaria, las piezas de repuesto, las reparaciones y el combustible, así como facilitar la aparición de mercados de servicios. Resulta igualmente importante invertir en infraestructura energética, por ejemplo, mediante el desarrollo de la electrificación independiente de la red a partir de recursos renovables. La disponibilidad de energía renovable basada en inversiones locales puede amortiguar tanto las perturbaciones en el sector energético como las fluctuaciones de los precios de los combustibles.

La mejora de la infraestructura de comunicación y de la conectividad a Internet en las zonas rurales es

fundamental para el funcionamiento adecuado de la automatización agrícola. La legislación puede desempeñar un papel importante, promoviendo asociaciones entre la comunidad y los sectores público y privado con el fin de mejorar la conectividad y la infraestructura conexa y proporcionar servicios de datos y apoyo. Las inversiones también deberían dirigirse a la infraestructura de apoyo relacionada, como conjuntos de datos públicos sobre previsiones meteorológicas y calendarios para la producción agrícola.

Además, las instituciones, las condiciones macroeconómicas y la capacidad institucional en general son fundamentales para la adopción de la automatización agrícola. Es importante mejorar los mercados de crédito para financiar las tecnologías de automatización, especialmente para los pequeños productores. Es esencial reforzar la capacidad institucional y política para orientar el desarrollo de las tecnologías de automatización; si las empresas tecnológicas privadas poderosas llegan primero, las consecuencias son potencialmente negativas, con efectos indirectos en la sociedad en general. Asimismo, si se establecen políticas nacionales transparentes de datos —que incluyan normas de protección de datos, intercambio de datos y privacidad— esas mismas empresas pueden facilitar la automatización digital. Otros facilitadores son el desarrollo de la infraestructura nacional de datos y el fomento de la interoperabilidad, es decir, la

comunicación precisa y fiable entre máquinas. Por último, las políticas cambiarias y comerciales pueden afectar a los patrones de la automatización debido a los costos de importación de maquinaria, equipo digital y piezas de repuesto.

## **LA AUTOMATIZACIÓN AGRÍCOLA PUEDE CONTRIBUIR A CREAR SISTEMAS AGROALIMENTARIOS INCLUSIVOS Y SOSTENIBLES**

La automatización agrícola enfrenta tres retos concretos: no dejar atrás a los grupos marginados, evitar el aumento del desempleo y el desplazamiento de puestos de trabajo y prevenir daños ambientales. Las políticas pueden desempeñar un papel importante a fin de abordar estos retos y velar por que la automatización contribuya a una transformación agrícola inclusiva y sostenible.

En primer lugar, los gobiernos deben garantizar que las mujeres, los jóvenes y otros grupos desfavorecidos se beneficien de la automatización. Las políticas que abordan las desventajas que enfrentan las mujeres (por ejemplo, mejorando sus derechos sobre la tierra o facilitando su acceso al crédito y a la extensión) contribuyen a aumentar el acceso de las mujeres a la automatización. Las actividades de investigación y desarrollo públicas pueden centrarse en tecnologías de mecanización favorables a las mujeres, es decir, adaptadas a sus necesidades.

Además, es preciso un programa dirigido a los jóvenes del medio rural y a otros grupos desfavorecidos, que permita que adquieran las competencias necesarias para desempeñar los trabajos altamente cualificados asociados a la automatización.

En segundo lugar, los gobiernos deben evitar los efectos negativos sobre el empleo. Es poco probable que la automatización genere desempleo cuando surge en respuesta a las fuerzas del mercado (por ejemplo, el aumento de los salarios rurales) y sustituye al trabajo familiar no remunerado. Por otro lado, si se impulsa artificialmente mediante esfuerzos públicos (por ejemplo, a través de la importación subvencionada de maquinaria), podría conducir al desempleo, al desplazamiento de puestos de trabajo y a la reducción de los salarios rurales. Por lo tanto, los encargados de formular las políticas no deberían promover la automatización antes de que sea necesaria. Al mismo tiempo, no deberían inhibir su adopción basándose en el argumento de que desplazará mano de obra y creará desempleo. El apoyo mediante políticas que proporcionan bienes públicos o colectivos a través del apoyo relacionado con servicios generales es el que más probablemente permitirá una transición fluida hacia una mayor automatización sin crear desempleo. Esto incluye respaldar actividades de investigación y desarrollo agrícolas y servicios de transferencia de conocimientos.

En tercer lugar, las políticas deben garantizar que la automatización agrícola contribuya a unos sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes. Las tecnologías de automatización digital más avanzadas, como la agricultura de precisión, pueden reducir al mínimo o evitar los efectos negativos en el medio ambiente relacionados con la mecanización motorizada. La investigación técnica y agronómica aplicada debería explorar las soluciones de automatización que mejor se adapten a las condiciones agroecológicas locales, y los gobiernos deberían facilitar la adopción de tecnologías ecológicas.

En conclusión, si se procura abordar los retos mencionados, la automatización agrícola puede funcionar como un catalizador que apoye la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

(ODS), en particular los ODS 1, 2, 3, 9 y 10. La combinación adecuada de tecnologías —así como las políticas, intervenciones e inversiones apropiadas— dependerá del nivel de desarrollo económico, las instituciones existentes, las características agronómicas locales y los objetivos de los encargados de formular las políticas. Es importante que estos reconozcan la especificidad del contexto de adopción y evalúen los problemas concretos que enfrenta una zona (por ejemplo, conectividad, desigualdad, pobreza, inseguridad alimentaria, malnutrición) antes de combinar los instrumentos de política para la acción. Corresponde a los productores agrícolas decidir qué tecnologías adoptar y a los gobiernos proporcionar un entorno propicio incluso en el que la innovación pueda prosperar. ■



# 2022

## EL ESTADO

# MUNDIAL DE

# LA AGRICULTURA Y

# LA ALIMENTACIÓN

### APROVECHAR LA AUTOMATIZACIÓN DE LA AGRICULTURA PARA TRANSFORMAR LOS SISTEMAS AGROALIMENTARIOS

La automatización ha ido conformando la agricultura mundial desde comienzos del siglo XX. La mecanización motorizada ha producido importantes beneficios en lo relativo a la mejora de la productividad, la reducción del trabajo pesado y una asignación más eficiente de la mano de obra, pero también ha ocasionado algunos impactos ambientales negativos. Más recientemente, ha aparecido una nueva generación de tecnologías de automatización digital de la agricultura que ofrece posibilidades de mejorar aún más la productividad, así como la resiliencia, abordando al mismo tiempo los problemas relacionados con la sostenibilidad ambiental causadas por la mecanización en el pasado.

En *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022* se examinan los factores determinantes de la automatización agrícola, incluidas las tecnologías digitales más recientes. Sobre la base de 27 estudios de casos, en el informe se analizan los argumentos a favor de la adopción de tecnologías de automatización digital en diferentes sistemas de producción agrícola de todo el mundo. Se señalan varios obstáculos que impiden la adopción inclusiva de estas tecnologías, especialmente por los productores en pequeña escala. Los obstáculos principales son el bajo nivel de alfabetización digital y la falta de infraestructura de apoyo, como conectividad y acceso a la electricidad, junto con limitaciones financieras. Basándose en este análisis, en la publicación se proponen políticas para conseguir que los grupos desfavorecidos de las regiones en desarrollo puedan beneficiarse de la automatización agrícola y que la automatización contribuya a crear sistemas agroalimentarios sostenibles y resilientes.



*El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2022* (texto completo - disponible a partir de diciembre de 2022)



Algunos derechos reservados. Esta obra está bajo una licencia de CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

