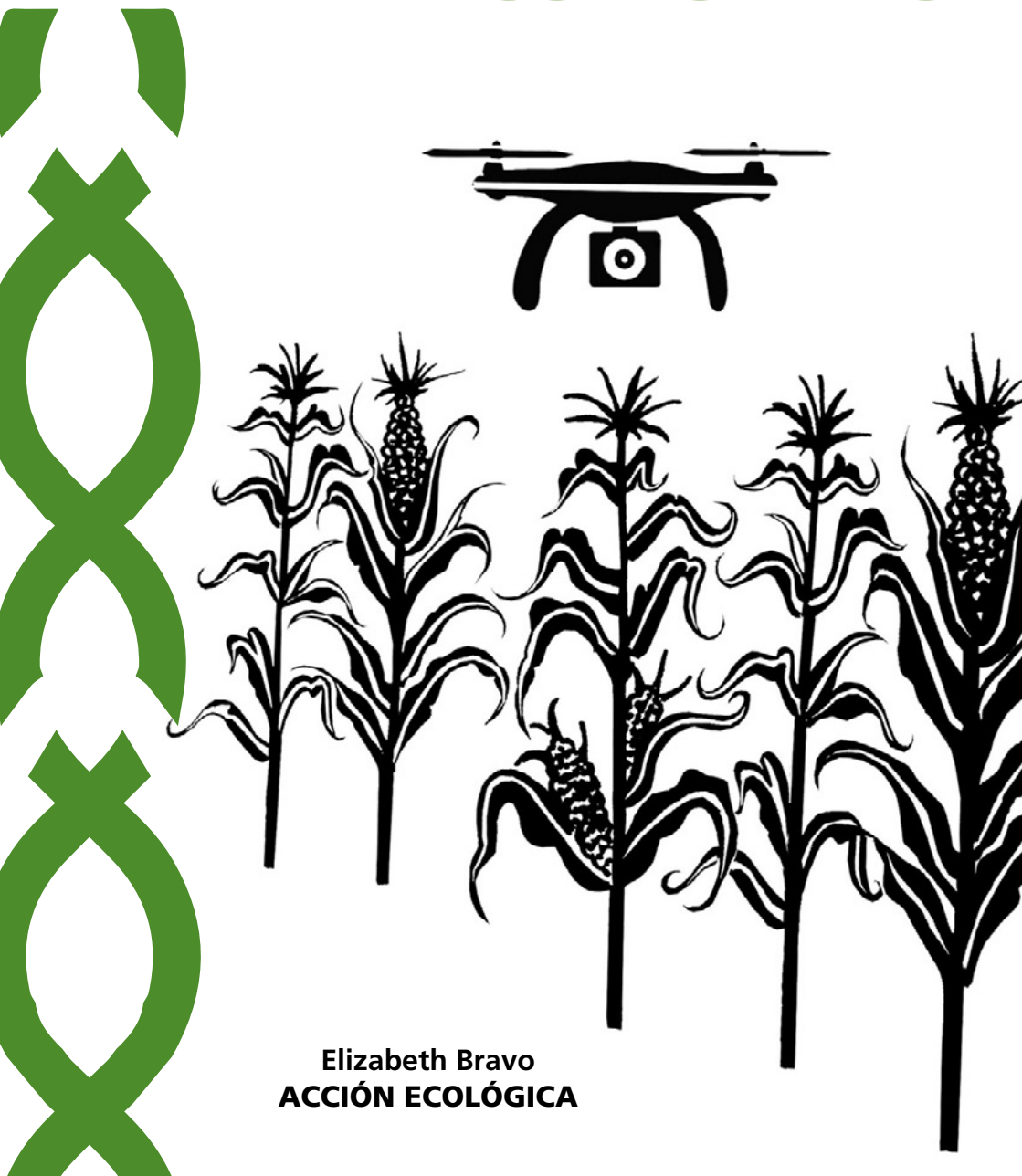
# DIGITALIZACIÓN EN EL AGRONEGOCIO ECUATORIANO



Elizabeth Bravo
**ACCIÓN ECOLÓGICA**

# Digitalización en el agronegocio ecuatoriano

**Autora:**
Elizabeth Bravo V.

**Ilustraciónes:**
Dennise Agurto
Santiago Quevedo

**Diagramación:**
Soledad Jácome

**Mayo, 2026**

Esta publicación ha sido hecha con el apoyo financiero de la Generalitat Valenciana. El contenido de esta publicación es responsabilidad exclusiva de Acción Ecológica y no refleja necesariamente la opinión de la Generalitat Valenciana.

# DIGITALIZACIÓN EN EL AGRONEGOCIO ECUATORIANO

# INDICE


Abreviaturas ..... 5

Introducción ..... 7

Digitalización, control y desplazamiento de conocimiento campesino ..... 9

Agricultura digital ..... 25

Visiones y acciones de organizaciones intergubernamentales sobre la agricultura digital ..... 37

Digitalización en el sistema agroalimentario en Ecuador ..... 57

La industria de la carne y la digitalización ..... 71

Digitalización en puertos y buques ..... 93

La digitalización en la transformación agroalimentaria ..... 97

Inteligencia artificial y manipulación genética de semillas ..... 103

Referencias ..... 111

# ABREVIATURAS

**ADN:** Ácido Desoxirribonucleico, la base de la herencia

**AGROCALIDAD:** Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario

**AIF:** Asociación Internacional de Fomento

**ANFAB:** Asociación Nacional de Fabricantes de Alimentos y Bebidas

**APPCC:** Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control

**ARN:** Ácido Ribonucleico

**BID:** Banco Interamericano de Desarrollo

**BPM:** Buenas Prácticas de Manufactura

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**CGIAR:** Consorcio de centros de investigación para la Agricultura, la Nutrición y la Salud

**CLS:** Estaciones de amarre de cables

**CONAVE:** Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador

**CREA:** Camino a la Reactivación del Ecuador Agroalimentario

**DAP:** Dispositivos Agregadores de Peces

**DSI:** Secuencias Digitalizadas de Genes

**Ecuapas:** Sistema informático de Aduanas del Ecuador

**ESPOL:** Escuela Politécnica del Litoral

**FAO:** Programa de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**FAOSTAT:** ase de datos estadísticos de la FAO

**FIDA:** Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola

**FAI:** Fondo de Agrotecnología Inclusiva

**GAFSP:** Programa Global de Agricultura y Seguridad Alimentaria

**GEF:** Fondo Mundial para el Medio Ambiente

**GLEAM:** Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería

**GPS:** Sistemas de posicionamiento global

**IA:** Inteligencia Artificial

**IdC:** Internet de las Cosas

**IFC:** Corporación Financiera International o International Finance Corporation

**IICA:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

**Indicadores ESG:** Indicadores Ambientales, Sociales y de Gobernanza

**INIAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

**ISO:** Organización Mundial de Normalización

**LoRa:** Tecnologías inalámbricas de bajo consumo y gran alcance

**ODS:** Objetivos de Desarrollo Sostenible

**OIE:** Organización Mundial de Sanidad Animal

**OMA:** Organización Mundial de Aduanas

**OMC:** Organización Mundial del Comercio

**PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

**PGCI:** Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente

**Proamazonía:** Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible

**RSPO:** Mesa Redonda de Palma Sustentable

**TIC:** Tecnologías de la información y comunicación

# INTRODUCCIÓN

La digitalización aplicada a la agricultura y ganadería, su transformación, distribución comercialización y consumo final, ha sido presentada como un camino hacia la transición energética y para enfrentar la crisis climática, la degeneración de los suelos, la conservación de la biodiversidad; y a la sustentabilidad en general.

También se le asocia con solucionar el problema de la inseguridad alimentaria frente a una población cada vez más creciente.

La agricultura digital se complementa con otras propuestas como la agricultura regenerativa, el carbono agrícola y ganadero y la economía verde.

En este texto vamos a desarrollar esta problemática, para desentrañar si verdaderamente éstas son verdaderas soluciones a los problemas planteados; un paso necesario hacia una transición ecológica y justa, o si por el contrario, son una evolución del agronegocio.

McMichael[1] habla del Tercer Régimen Alimentario y de la importancia que cobra el llamado "bio capitalismo", la tecnologización de la naturaleza y la digitalización. Otros autores puntualizan la gran concentración corporativa que se da con la agricultura de precisión, y de la agricultura climáticamente inteligente[2]. Por su parte, la industria de alimentos ha denominado a estas nuevas evoluciones en la producción de alimentos, como Agricultura 4.0.

Indudablemente estamos frente a fuertes cambios que se están dando en la industrial agricultura del norte global y en las élites de los países del tercer mundo, sobre todo en las cadenas de *commodities* que circulan en el mercado mundial. En el caso específico del Ecuador tenemos, entre otros, banano, flores, camarones y atún.

Nos preguntamos cómo la introducción de estas nuevas tecnologías en lo agrario, están cambiando la forma de producción, distribución y consumo de alimentos; cómo se configuran las nuevas relaciones de poder y cómo afecta esto a la agricultura indígena y campesina; al ambiente y a la naturaleza.

Un punto de relevancia es el empleo rural agrícola, pues estas nuevas tecnologías (digitalización, robotización y la modificación genética de la semilla), nos presentan un modelo de "agricultura sin agricultores" y promueven la descampenización de la producción, intensificando la crisis rural en desmedro de la soberanía alimentaria.

# 1. DIGITALIZACIÓN, CONTROL Y DESPLAZAMIENTO DE CONOCIMIENTO CAMPESINO

Los humanos siempre hemos aspirado a que algún procedimiento mecánico nos haga menos dependientes de la voluntad de los otros. La racionalidad algorítmica parece prometerlo, pero ¿es realmente así? ¿Quién decide cuando aparentemente nadie decide?

Daniel Innerarity

## Una reflexión inicial necesaria

La agricultura digital se enmarca en lo que se ha dado por llamar "agricultura inteligente", "irrigación inteligente" o "pesca inteligente…" es decir, el conjunto de decisiones que debe tomar un agricultor, un ganadero o cualquier actor de la cadena agroalimentaria, "basada en datos".

Ya que a lo largo de todo este trabajo se habla de "inteligencia", en el contexto de la digitalización agrícola quiero citar de nuevo a Innerarity[3], cuando dice que "el método democrático de tomar decisiones es más inteligente que cualquier otro, e insustituible en un contexto de incertidumbre". Y ahora, más que nunca, vivimos en contextos de incertidumbres.

El añade que no se la puede calificar [a la digitalización] propiamente de inteligencia, ya que «no es capaz de hacer lo que hace el cerebro humano». No tiene sentido común y reflexividad, rasgos específicos de nuestro cerebro, por lo que aunque es capaz de hacer recomendaciones agrícolas sobre los nutrientes que necesita una planta o predice el advenimiento de plagas, o imitar algunos patrones de la conducta humana, no los entiende. Su matemática precisión le priva del encanto paradójico de la imprevisibilidad que posee la inteligencia humana, sujeta a la sorpresa, al fallo, a lo ambiguo[4].

Entonces, cuando un agricultor toma decesiones basadas en las recomendaciones hechas por las herramientas digitales ¿quién verdaderamente está tomando decisiones por nosotros? ¿a quién estamos verdaderamente beneficiando?

## Capitalismo de plataforma

De acuerdo al economista canadiense Nick Srnicek, la materia prima en torno a la que orbita el capitalismo del siglo XXI son los datos que son generados por los usuarios, y su aparato de extracción más eficiente son las plataformas. El sostiene que el capitalismo se volcó hacia los datos para recobrar vitalidad tras las prolongadas crisis de sobrecapacidad que acechan la producción fordista de bienes y su régimen de empleo desde la década de 1970[5].

Srnicek dice que los datos, como el petróleo debe ser refinado. Si pensamos en la agricultura digital, entre más productores utilizan las herramientas digitales, mayor será la extracción que hacen las grandes empresas tecnológicas de datos agropecuarios y acuícolas, y mejor será su capacidad de predicción. De esa manera, las empresas digitales, tendrán cada vez más datos que vender y más servicios que ofrecer, a quienes son sus proveedores, que en este caso son los agricultores. Se crea así un círculo vicioso.

Los datos, que en sus inicios eran aspectos secundarios en los negocios, se fueron haciendo cada vez más abundantes e indispensables. Con base a ellos se crearon nuevos servicios, nuevos productos, se crearon nuevas necesidades, en todos los ámbitos de la vida. La agricultura no fue una excepción.

Por otro lado, están las plataformas, que son infraestructuras digitales que permiten que dos o más grupos interactúen. Las plataformas permiten a sus desarrolladores construir y vender aplicaciones. Por ejemplo, la aplicación de Uber permite los conductores y a los pasajeros intercambiar viajes por dinero. En vez de tener que construir un mercado desde cero, una plataforma proporciona la

infraestructura básica para mediar entre diferentes grupos. Las plataformas de taxis usan los datos del tráfico, de las actividades de los conductores, de los pasajeros…

Otra característica de las plataformas digitales es que producen y dependen de efectos de red: mientras más numerosos sean los usuarios que hacen el uso de una plataforma más valiosa se vuelve esa plataforma.

Los datos han llegado a servir a varias funciones claves: educan y dan ventaja competitiva a los algoritmos, habilitan la coordinación y deslocalización de los trabajadores, permiten la optimización y flexibilidad de los procesos productivos, hace posible la transformación de productos de bajo margen, en servicios de alto margen. El análisis de datos en sí mismo genera datos, en un círculo vicioso[6].

Problemáticas adicionales a la digitalización son el control y vigilancia que se tiene con la introducción de herramientas digitales en el agro (y en la vida en general); y la pérdida de soberanía.

Shoshana Zuboff define el término «capitalismo de la vigilancia», para caracterizar "toda una arquitectura global de modificación de la conducta que amenaza con transfigurar la naturaleza humana misma en el siglo XXI, de igual modo a como el capitalismo industrial desfiguró el mundo natural en el siglo XX"[7].

En el caso que estamos analizando, se trata de la naturaleza del campesinado, y su capacidad de tomar decisiones sobre su cosecha, pues es reemplazadas por máquinas "inteligentes", capaces de predecir lo que la persona rural no puede.

Zuboff habla de la "computación ubicua", que está en todas partes y que transformará al mundo real en un aparato de computación silenciosa y voraz, universalmente conectado en red, y que crea nuevos mercados de conductas futuras y productos predictivos. El desafío será constatar si esos productos son fiables, luego de haber

pasado por un proceso de ensayo y error. La autora señala que la primera oleada de productos predictivos se aplicó a la publicidad digital dirigida.

Luego se evolucionó a los «medios de modificación conductual» propios del siglo XXI. El objetivo no es imponer normas de comportamiento, de observancia u obediencia, sino producir una conducta que, de un modo fiable, definitivo y libre de error, conduzca a los resultados comerciales deseados.

La necesidad de tener resultados garantizados por el imperativo predictivo, insta a los capitalistas de la vigilancia a crear nuestro futuro, para poder predecirlo. Para ello, es necesario contar con un régimen de computación ubicua. Este aparato progresivamente creciente, "inteligente" y potente se está instalando gradualmente en todos los ámbitos[8], incluyendo en la agricultura en un sentido amplio.

Está también la dimensión geopolítica, pues la digitalización ha impuesto una transformación significativa en la lucha por el poder global.

> Con la transición a la era digital, el control de datos, las infraestructuras digitales, el ciberespacio y el espacio exterior constituyen nuevos elementos interconectados que definen la capacidad de una nación o entidad para influir en la configuración del poder global. El dominio digital proyecta el dominio tecnológico mediante la recopilación y gestión de información estratégica e incluso el liderazgo en conflictos bajo nuevas formas, como la guerra cibernética y la guerra de la información[9].

La digitalización ha hecho que cambien algunos aspectos la geopolítica clásica. En el Siglo XIX se centraba en el control del mar y en el XX en territorios para el extractivismo. Hoy con la digitalización ha hecho que se interconecten el tierra y mar, a través de la infraestructura de datos, computación en la nube, cables submarinos,

plataformas digitales, algoritmos e inteligencia artificial. La centralización de datos de todo tipo, que antes estaban centrados en los Estados, ahora se centran en las grandes empresas tecnológicas que dominan la infraestructura material (nubes, cables, plataformas) y operan prácticamente sin ninguna regulación. Esto cambia las relaciones de poder a nivel geopolítico, pues a mayoría de Estados nacionales carecen la las capacidades digitales que si poseen estas empresas.

Estas empresas poseen además un gran poder económico. Solo NVIDIA, valía más que las economías de cualquier país, con la excepción de Estados Unidos, China y Alemania[10].

El poder informático del primer cuarto del siglo XXI no depende sólo de fronteras físicas. Las grandes empresas tecnológicas que controlan los flujos de información, redes, bases de datos personales e infraestructura invisible, creando nuevas dependencias tecnológicas estructurales en el mundo[11]. No hay que olvidar sin embargo, que todo esto tiene una fuerte base material con asidero territorial: el agua, la energía, las tierras raras y otros minerales, permiten que este sistema funcione. De esa manera, los datos emergen como el nuevo espacio estratégico, capaz de superar la soberanía estatal y crear formas de poder sin precedentes.

## Agricultura basada en algoritmos

Las grandes tecnológicas, como Amazon, Microsoft, Google y Alibaba, están uniendo fuerzas con gigantes de la agroindustria para transformar la agricultura mediante la aplicación de herramientas digitales con la IA, agricultura de precisión, internet de las cosas[12], plataformas digitales, y otras.

Se las vende con los mismos argumentos que en la década de 1990 se promocionaron a las semillas transgénicas: producir más eficientemente para poder alimentar a la población creciente, enfrenta el el cambio climático, empoderar a los agricultores.

Pero, de acuerdo a un nuevo informe de IPES FOOD[13], con la rápida expansión digital en la agricultura hay un alto riesgo de que aumente la deuda de los agricultores y que se acelere la pérdida de unidades productivas agrícolas, profundizando el daño ecológico y la concentración y el control corporativo sobre la producción de alimentos.

El informe advierte que, si bien estas herramientas digitales, lideradas por las corporaciones, dominan la financiación y el apoyo político, las innovaciones de abajo a arriba, impulsadas por los agricultores, que ofrecen un mayor potencial de autonomía y sostenibilidad, siguen siendo ignoradas y cuentan con financiación insuficiente o ninguna.

Los autores se preguntan si realmente la IA y las herramientas digitales fomentan la resiliencia climática; y la respuesta es **NO**, porque la agricultura industrial se está reconstruyendo en torno a herramientas de "precisión" basadas en datos, desarrolladas mediante alianzas entre las grandes tecnológicas y las grandes empresas agrícolas. Su objetivo no es climático, pues consumen vastos recursos energéticos, minerales e hídricos, se aplica a la agricultura de monocultivos, con uso intensivo de insumos y aumentan la vulnerabilidad a las crisis climáticas.

Por otra parte, señalan que los agricultores se enfrentan a una creciente dependencia, pues estos modelos intensivos en capital suelen requerir una inversión inicial significativa, lo que aumenta el riesgo financiero para los agricultores y margina a los pequeños productores.

Las grandes empresas tecnológicas están mediadas por algoritmos y sistemas basados en la nube para orientar a los agricultores en sus decisiones sobre sus cultivos y los insumos que deben aplicar.

## Devaluación de conocimientos campesinos

La digitalización agrícola funciona en escenarios estandarizados y cuantificables, para que los datos agrícolas funcionen. Se dice que los datos tomados por los sensores y otras herramientas digitales

facilitan la toma de decisiones y la eficiencia en las fincas, y ayudan a predecir aspectos climáticos y otros.

Desde esta perspectiva, parece que hay una suposición implícita de que los agricultores desconocen cómo funcionan sus fincas, o no saben tomar bien sus decisiones, lo que lleva a preguntarnos qué tipos de conocimiento son válidos para tomar buenas decisiones.

De acuerdo a un estudio de investigadoras de la Universidad Abierta de Cataluña, [14] para los pequeños agricultores españoles, hay limitaciones de las herramientas digitales al momento de captar todo el conocimiento agrícola, pues ellos valoran los aspectos sensoriales y tácitos como cruciales para la agricultura. La vista, el tacto, el olfato, el gusto y el oído, permite a los agricultores percibir cambios sutiles en su entorno para tomar decisiones.

A pesar del enfoque basado en datos, los agricultores confían en su intuición y experiencia para evaluar cualquier dato y recomendación. Expresan su escepticismo sobre la precisión y la utilidad de las herramientas digitales, enfatizando la necesidad del juicio humano y el valor irremplazable de su sabiduría tácita en la gestión de sus campos.

Sin embargo, el conocimiento experiencial a menudo desafía la articulación explícita. Reside en la intuición de los agricultores, perfeccionada durante generaciones para reconocer cambios sutiles en la salud de las plantas, la humedad del suelo y el comportamiento de las plagas.

Por ejemplo, un agricultor de Andalucía productor de compost para sus huertos orgánicos, considera que el olfato es crucial para saber el momento adecuado para fertilizar.  Otros consideran que las aplicaciones son demasiado rígidas y no se adaptan a sus necesidades específicas.

Las autoras encontraron que los roles cambiantes y las nuevas prácticas cotidianas inherentes a la agricultura digital, están diseñada

para grandes empresas, que menudo son gestionadas por técnicos agrícolas en nómina e incluyen agricultores bajo diferentes modalidades de agricultura por contrato; y no para la estructura laboral de las fincas familiares.

## Los agricultores como proveedores de información

Para que la agricultura digital funcione, son los propios productores quienes deben proveer información a las empresas que controlan las plataformas digitales. Aunque el agricultor es dueño de la información que entrega a través de las múltiples herramientas que existen, lo que en realidad tiene valor es el conjunto de datos que se almacenan a partir de todos los productores que participan en estos programas.

Como dice Lohman, cada vez que entra un nuevo dato a estas plataformas, las corporaciones están explotando el trabajo no remunerado e informal de sus clientes, apropiándose gratis de su información[15].

Es así como las empresas promueven a los productores agrícolas que monitoreen sus propios campos, y que generen información que, si bien les será útiles a ellos, constituye la materia prima con la que se alimentan las plataformas digitales, como lo señala Bayer Global en su plataforma sobre sistemas de agricultura digital:

> Las aplicaciones digitales… están permitiendo a los agricultores recopilar y analizar miles de millones de datos de sus campos para ayudarlos a tomar decisiones mejores y más informadas que también pueden mejorar las cosechas. Esta plataforma digital proporciona una imagen completa de lo que sucede en el campo con precisión para que los agricultores puedan hacer el mejor uso de sus recursos.

Si, los agricultores recopilan datos, pero no son ellos los que los analiza. Quienes lo controlan son en última instancia, quienes lucran de ellos. Los datos están impregnados de los intereses de

quienes los controlan; de toda la diversidad de empresas que participan en la agricultura digital.

## Digitalización agrícola ¿una transición para enfrentar el cambio climático?

La digitalización en algunos campos de la agricultura, forma parte de una estrategia que, presentándose como una solución al cambio climático y la sostenibilidad ambiental, en realidad es una forma de renovación del capitalismo agrario.

Nombres como economía circular, inteligencia artificial, digitalización, agricultura 4.0; son partes de una nueva estrategia a través de la cual, los sectores tradicionales agroexportadores, pretenden mantener sus mercados en el exterior, en la era de la "descarbonización de la economía".

La "economía circular" va de la mano de la agricultura 4.0. "La economía circular incentiva, promueve y da sentido al desarrollo de nuevas tecnologías 4.0 y viceversa", dicen sus promotores. Entre las tecnologías que conforman la industria 4.0 se incluye la impresión 3D, la inteligencia artificial, la robótica, las *big data*, el internet de las cosas.

Entre los llamados "modelos de negocio circulares" se incluyen la recuperación de los recursos, la prolongación de la vida útil del producto, el uso compartido de plataformas digitales, suministros circulares, las redes sociales, la comunicación M2M[16], la nube.

En el Ecuador, los sectores agroexportadores tradicionales como el bananero, camaronero y palmicultor, están entrando en el mundo de la "digitalización", presentándose como sectores que se renueva y que caminan hacia una producción más sustentable y que aplican tecnologías "inmateriales".

Sobre la reducción de residuos y disminución en el uso de recursos, la desmaterialización de la economía y la economía circular,

Martínez Alier señala que toda la economía humana recibe recursos y produce residuos, por lo que no existe una economía circular cerrada. Lo que entra en la economía como insumo, sale después transformado como residuo; aunque una parte se acumula como un stock, a la larga llega a transformarse en residuo. Además, la energía se disipa y sólo una pequeña cantidad de materiales se recicla.

Martínez Alier añade que el 44% de los materiales procesados se utilizan para proporcionar energía; y con la digitalización, el uso de energía se incrementa, como señala el Movimiento Mundial de Bosques: "las enormes cantidades adicionales de electricidad necesarias para operar gigantescas bibliotecas de datos ('*big data*') a través de computadoras súper rápidas en centros de datos gigantes, ejercen aún más presión sobre los bosques que contienen fuentes de energía hidroeléctrica o combustibles fósiles".

La velocidad y flexibilidad son fundamentales para la aceleración de la acumulación capitalista, facilita los procesos de ocupación del territorio, con los que no pueden competir quienes lo han hecho de manera tradicional; facilita lo que Castells llama "colonización del tiempo".

> Resulta interesante que también haya un «tiempo futuro» mítico de los poderosos, es decir, el tiempo proyectado de los futurólogos del mundo empresarial. De hecho, ésta es la forma última de conquistar el tiempo. Colonizar el futuro extrapolando los valores dominantes del presente en las proyecciones: cómo seguir haciendo lo mismo, con más beneficios y poder, dentro de veinte años. La capacidad para proyectar el tiempo actual de cada uno, negando el pasado y el futuro a la humanidad en sentido amplio, es otra forma de establecer el tiempo atemporal como forma de afirmar el poder en la sociedad red (Castell, 2009).

En un análisis hecho por Prause, *et al* (2021) sobre la digitalización en los sistemas agroalimentarios, los autores argumentamos que las tecnologías digitales sirven, por un lado, como una continuación de las tecnologías de la información y la comunicación establecidas; y por otro, profundizan el control del sector de supermercados sobre las cadenas globales de productos básicos.

Las tecnologías digitales también introducen nuevas formas de control y extracción de valor. basadas en el uso de datos y allanan el camino para que las grandes empresas tecnológicas se apoderen de cuotas de mercado en el sector agroalimentario.

Finalmente, observan que las empresas agroalimentarias multinacionales están comenzando a adoptar los modelos de negocio de las empresas líderes en tecnología digital. Se están desarrollo de plataformas digitales para todo el sistema agroalimentario, lo que demuestra que la reestructuración económica más amplia del capitalismo neoliberal hacia el capitalismo digital, también se está abriendo camino en el mundo agrícola y alimenticio[17].

## Impacto ambiental de la digitalización[18]

El discurso oficial sostiene que la digitalización reduce el uso de materiales y las emisiones de carbono; que es una economía desmaterializada y descarbonizada, porque se reducción la producción y el uso de materiales físicos, así como de la construcción de instalaciones, reduciendo así la presión sobre los recursos y ayudando a abordar la crisis climática.

Sin embargo, los datos, que son la materia prima de la digitalización, no son etéreos ni inofensivos. Requieren el uso intensivo de recursos, están hechos de arena, agua, carbón y productos químicos nocivos que generan desechos tóxicos.

Para fabricación de chips semiconductores, el componente básico de todo lo digital y electrónico, se requiere arena de sílice puro, cuarzo y agua ultrapura, que provienen del extractivismo mineral y

del agua; además de otros minerales como litio, el níquel, el cobalto, el manganeso y el grafito. Se usan para fabricar las baterías que alimentan los dispositivos electrónicos y digitales, los drones y vehículos eléctricos, y para almacenar energía renovable. Las baterías proveen energía a los teléfonos móviles, tabletas y computadoras portátiles, a robots, drones, tractores no tripulados y vehículos eléctricos.

El consumo de agua en la fabricación de semi-conductores, en particular microchips, también compite directamente con la producción agrícola, como se demostró con la prioridad que disfrutaron los principales fabricantes de chips del mundo sobre las áreas agrícolas de Taiwán durante la sequía de 2021.

Los datos se almacenan en las llamadas "nubes" o data centers, que requieren un suministro ininterrumpido de agua fría para evitar que los servidores se sobrecalienten. Están compuesto por miles de filas de servidores y dispositivos electrónicos dispuestos en grandes terrenos techados.

Muchas ciudades de Estados Unidos, donde actualmente se encuentran una cuarta parte de los centros de datos del mundo, están preocupadas por su suministro de agua, especialmente en el oeste del país donde se vive ya a una crisis hídrica.

El boom de la inteligencia artificial ha expandido la explotación de territorios terrestres y del lecho marino, y se explora la posibilidad de hacer minería en los asteroides en busca de estos minerales.

La proliferación de tecnologías digitales genera montañas enormes de desperdicios electrónicos, una gran cantidad de los cuales son exportados al Sur Global, donde químicos como el mercurio o los retardantes de llama se liberan al ambiente, afectando severamente la salud de los trabajadores y las comunidades expuestas.

Operar los centros de datos y transmitir datos a través de las redes también implica un consumo masivo de combustibles fósiles. La Agencia Internacional de Energía estima que los centros de datos

Remolcador de cables oceánicos

y las redes de transmisión de datos a nivel mundial representaron entre el 2 - 3% del uso global de electricidad en 2022. Todo el continente africano consumió aproximadamente la misma cantidad de electricidad en el mismo año[19].

Lejos de ser una solución para el cambio climático o descarbonizar la producción, las emisiones de $CO_2$ aumenta con la rápida adopción de la digitalización. En 2023, Microsoft anunció que sus emisiones aumentaron un 29% respecto a 2020. Google se vio obligado a hacer público en 2024 que sus emisiones de carbono aumentaron un 48% respecto a 2019.

Otro componente de la digitalización incluye toda la infraestructura necesaria para la transmisión de datos de ida y vuelta[20], la que depende en gran medida de la energía, el agua y la tierra para funcionar.

Toda información transformada en datos y transmitida digitalmente de un dispositivo a otro recorre un camino sustentado por una infraestructura que extrae recursos, requiere mucha mano de obra y es destructiva para el medio ambiente, integrada en regímenes económicos, políticos y legales.

Los datos transmitidos a través de internet se convierten en electricidad, son interpretados por el ordenador receptor y descompuestos en paquetes que se transportan a través de una red. El tráfico de datos se basa en tecnologías que implican la construcción e instalación de una constelación de infraestructura física, que abarca:

- cables submarinos y terrestres que transmiten datos
- estaciones de amarre de cables (CLS) que sirven de puente entre los sistemas marinos y terrestres
- centros de datos que almacenan, gestionan y procesan datos
- satélites que transmiten y amplifican datos mediante ondas de radio o láseres
- torres y postes que conectan a los usuarios con el sistema.

Fuente: African Centre for Biodiversity (2026)

Los cables submarinos (que son invisibles para la mayoría de personas) son responsables de transmitir el 95% del tráfico mundial de datos, y se consideran la columna vertebral de internet. Cruzan el planeta bajo el agua, la longitud total de cables submarinos activos en todo el mundo en 2025 era de 1,5 millones de kilómetros.

Del tráfico global de datos, al menos el 95% pasa por cables submarinos de fibra óptica.

En 2024 se instalaron aproximadamente 200.000 km de cables submarinos nuevos y se cree que esta cifra aumentará en los próximos años. Esta red global, tendida en el lecho marino en zonas profundas y enterrada en zonas poco profundas, podría dar 37,5 vueltas al ecuador terrestre, sin que exista ninguna autoridad multilateral que las supervise o regule.

Los satélites transmiten solo alrededor del 5% de los datos globales, principalmente a zonas rurales y remotas con servicios insuficientes o inaccesibles mediante conexiones terrestres. Los satélites emiten y amplifican señales, transmitiendo y retransmitiendo datos mediante ondas de radio o láseres para enlaces de alta velocidad dirigidos a estaciones repetidoras terrestres.

Los transpondedores a bordo de estos satélites transmiten y procesan datos, y luego los transmiten a la Tierra en diferentes frecuencias mediante antenas. A nivel mundial, la industria satelital se ha transformado, con el auge de las empresas privadas dando paso a un nuevo ecosistema satelital que ahora incluye startups, universidades y un número cada vez mayor de gobiernos participantes.

Toda esta infraestructura consume grandes cantidades de energía agua y materiales, y genera grandes cantidades de desechos tóxicos y peligroso.

Todos estos impactos aumentarán de manera exponencial, dado el impulso que se está dando a la inteligencia artificial.

# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. McMichael, P. 2019. Does China's 'going out' strategy prefigure a new food regime? The Journal of Peasant Studies 47 (1): 116–154.

2. Citado en Prause, L. et al. (2021). Digitalization and the third food regime. Agriculture and Human Values 38:641–655.

3. Innerarity D. (2025). Una teoría crítica de la inteligencia artificial. Editorial. Galaxia Gutenberg.

4. Citado en Nueva Revista (2025). Daniel Innerarity: Una teoría crítica de la inteligencia artificial. https://www.nuevarevista.net/daniel-innerarity-una-teoria-critica-de-la-inteligencia-artificial/

5. Srnicek N. (2017). Capitalismo de plataforma. Cambridge: Polity.

6. Srnicek, obra citada.

7. Zuboff S. (2019). La era del capitalismo de vigilancia . Nueva York: PublicAffairs.

8. Zuboff, obra citada

9. Pochmann M (2025). La disputa por la tierra y el mar en torno a la geopolítica de los datos. Nodal. Noticias de América Latina y el Caribe. https://www.nodal.am/2025/12/la-disputa-por-la-tierra-y-el-mar-en-torno-a-la-geopolitica-de-los-datos/

10. Il Chimico Scettico (2025). La inteligencia artificial, burbuja y desempleo. El Viejo Topo. https://www.elviejotopo.com/topoexpress/la-ia-y-el-desempleo/

11. Pochmann, obra citada.

12. Es una red de objetos o dispositivos físicos (como vehículos, etc.) que incorporan sensores, software y conectividad de red, lo que les permite recopilar y compartir datos.

13. IPES Food (2026). Head In The Cloud: Challenging the false promise of digital agriculture and cultivating innovation from the ground up.

14. Yáñez Serrano P. y Argüelles Ramos (2025). "In agriculture 1+1 does not equal 2": Re-configurations and frictions around the implementation of the Digital Farm Book. Environmental Science and Policy 171 (2025) 104128. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104128

15. Lohman L. (2020). Cadenas de bloques, automatización y trabajo. Mecanizando la confianza. Red Tecla. https://www.redtecla.org/sites/default/files/5_TECLA-Cadenas-Bloques-automatizacion-trabajo.pdf

16. La comunicación M2M se refiere al término "Machine to Machine" y abarca cualquier tipo de tecnología que permita establecer una comunicación o intercambio de información entre dos máquinas, que podrían ser computadoras, servidores, móviles, etc. Un ejemplo de este tipo de comunicación es el *Bluetooth*, pero hay otras con mucho mayor alcance.

17. Prause L. et al (2021). Digitalization and the third food regime. Agriculture and Human Values 38:641–655. https://doi.org/10.1007/s10460-020-10161-2

18. Texto basado en: Grupo ETC (2024). Detrás de las nubes impactos ambientales de la digitalización. Comunicado 119.

19. Agencia Internacional de Energía, "Data Centres and Data Transmission Networks" https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks#

20. Este texto está basado en: Chowdhry K. y Dano N. (2026). Digital infrastructure in Africa-Deconstructing the myth of dematerialisation and unveiling corporate power. African Centre for Biodiversity.

# 2. AGRICULTURA DIGITAL

La agricultura digital forma parte de lo que se ha dado por llamar también agricultura inteligente o agricultura 4.0., y se la promociona como una "solución" para enfrentar muchos problemas agronómicos, climáticos, ambientales (como la generación de desperdicios o el uso de combustibles fósiles), de transporte y comercialización.

La digitalización se aplica a todas las etapas del metabolismo social del sistema agroalimentario global.

Para la empresa BASF, la agricultura 4.0 es un conjunto de tecnologías centradas en la digitalización de los procesos agrícolas, que incluyen equipos, software y sistemas que pueden mejorar el proceso de producción de principio a fin, haciéndolo más rápido, económico y sostenible. Es una gigantesca combinación de tendencias y datos en tiempo real. La información extraída de este proceso sirve de guía para que los productores tomen decisiones "más acertadas" en sus empresas agrícolas. Además, está la automatización de funciones a gran escala a través del Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial[1].

**Agricultura 1.0:** agricultura de subsistencia, en la que el agricultor cultiva para sobrevivir. Todavía es muy común en el país [Ecuador], tiene una baja productividad y uso de energía debido al difícil acceso a la tecnología.

**Agricultura 2.0:** se desarrolla a partir de 1950. Esta fase representa el avance de la ciencia en el campo y la llegada de maquinaria para impulsar la producción. Este proceso se produjo en todo el mundo, también conocido como la Revolución Verde por los nuevos métodos de cultivo difundidos.

**Agricultura 3.0:** 1990 y 2010. Se caracteriza por el inicio de la automatización y la recolección de datos para aumentar el rendimiento de los procesos agrícolas.

**Agricultura 4.0:** Digitalización agrícola.

La agricultura digital puede dividirse en dos grandes campos: a) agricultura de precisión y b) aplicaciones y plataformas[2].

## Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. Involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo. Las tecnologías de la agricultura de precisión permiten el manejo óptimo de grandes extensiones.

Se usa para la aplicación de insumos agrícolas con mucha precisión como fertilizantes, plaguicidas y agua de riego. Utiliza tecnologías de información para recabar datos sobre el suelo, el clima, la maquinaria, que incluyen sensores de suelo, de vegetación, de producción o de cultivo. Las tecnologías de precisión incluyen guías instaladas en los tractores, maquinaria de dosificación y otro tipo de herramientas que forman parte de la robótica agrícola. Para ello se hacen diseños campo a campo.

## Plataformas

Las plataformas se dividen en aplicaciones de asesoría en el campo para el manejo de la finca, incluyendo aplicaciones que ayudan en la toma decisiones sobre fertilizantes, agrotóxicos, composición del pienso… Pueden funcionar con fotos o con redes sociales. Estos sistemas de software de manejo de finca pueden ser usadas desde un teléfono inteligente, una tableta o una computadora para recibir asesoría remota.

Las plataformas digitales permiten el intercambio de información entre agricultores o con otros actores en la cadena de suministro. Las plataformas dan asesorías agrícolas específicas sobre temas como la dotación de inputs agrícola maquinarias, las llamadas "soluciones de extremo a extremo", como servicios financieros marketing.

Software de manejo de la finca y los sistemas de información de la finca asesoran al agricultor a manejar la granja en su integridad, y no cultivo por cultivo.

## EMPRESAS QUE ESTÁN LIDERANDO LA DIGITACIÓN AGRÍCOLA

La digitalización se integra cada vez más en la propiedad corporativa extractiva y concentrada de la agricultura global.

Promueven un tipo de agricultura y ganadería, basada en la estandarización de materiales, productos y tecnologías agrícolas, tecnologías con un alto contenido de derechos de propiedad intelectual, uso de organismos genéticamente modificados y nuevos desarrollos tecnológicos como la inteligencia artificial (IA), y su expansión global, tanto financiera como geopolítica.

Intervienen en agricultura de precisión, software para el manejo de las fincas, robóticas y drones, datos de ganadería, irrigación inteligente, sensores agrícolas y otros.

Las grandes y poderosas miembros corporaciones de agroquímicos, semillas industriales (híbridos, transgénicos, variedades de alto rendimiento y editadas genéticamente) y de maquinaria agrícola, ahora integradas a las nuevas tecnologías digitales y de ingeniería mecánica quieren "modernizar" la agricultura del sur global, para satisfacer las necesidades de consumo del norte rico.

Todas las herramientas de agriculturas digital recogen datos de los agricultores, que un principio están disponibles, pero que entran en grandes bases de datos controladas por las corporaciones[3].

La agricultura digital ha influido en la estructura de la industria de insumos agrícolas de tres maneras. El primer impacto, y quizás el más importante, ha sido el aumento de las inversiones por parte de nuevos grupos de inversores y empresas ajenas a los que tradicionalmente se considera la industria de insumos agrícolas.

Las empresas que intervienen en la digitalización agrícola y ganadera se las puede clasificar en las siguientes:

## EMPRESAS DE INSUMOS AGRÍCOLAS

La mayoría de trasnacionales de agrotóxicos y semillas, están invirtiendo en investigación y desarrollo para la digitalización agrícola. También están comprando pequeñas empresas de software y hardware empresas. Están basadas en Estados Unidos, China, India y Europa.

Bayer en su reporte de 2019 dijo que están transformando su negocio y mirando como proveer "soluciones" a sus clientes, a través de procesos automáticos y el incremento de la investigación y desarrollo para la productividad, y conectando digitalmente las granjas con una plataforma líder común para ayudar a crear nuevos valores a sus clientes. El discurso de Bayer sobre la cambio climático y recuperación de suelos, lo combina con "soluciones" digitales.

> Bayer impulsa la implementación de programas de agricultura regenerativa en todas las regiones donde opera. Los Servicios Ecosistémicos Globales de Bayer apoyan a agricultores y empresas de toda la cadena de valor para acelerar la adopción de prácticas agrícolas más regenerativas y tecnología digital[4].

De igual manera, la empresa UPL de la India (la mayor proveedora de semillas de maíz amarillo duro en Ecuador), ha desarrollado su plataforma nurture.farm, sobre la que dice:

> La plataforma nurture.farm fomenta la resiliencia de los agricultores, simplificando la agricultura, haciéndola rentable y sostenible para las generaciones futuras mediante soluciones tecnológicas que abarcan cada etapa del ciclo de vida agrícola. nurture.farm, incubada por UPL, operará como una plataforma abierta para el suministro de productos, la innovación y la mecanización.

Otros grandes conglomerados de insumos agrícolas digitales son BASF (Alemania), Syngenta, Corteva, FMC[5].

En el área de fertilizantes también ha habido una serie de adquisiciones de tecnologías digitales para "proveer servicios en cada etapa del cultivo". Estas incluyen fotos digitales para ver las carencias del cultivo, toma de decisiones basada en datos, como mezclar fertilizantes foliares, herramientas para conocer los requerimientos de nitrógeno[6]… es decir, cómo aplicar más fertilizantes.

Otras grandes corporaciones de fertilizantes que han adoptado la digitalización incluyen Mosaico, CF Company, CF Industries, Israel Chemicals.

## MAQUINARIA AGRÍCOLA

Las maquinarias agrícolas como tractores, cosechadoras, ordeñadoras, tienen una gran capacidad de almacenar datos, cuando están asociadas a sensores digitales. Mahindra & Mahindra de India, John Deere seguidas por CNH industrial, AGCO, Class, Kubola producen

Maquinaria agrícola con sensores digitales

maquinaria para la agrícola de precisión. Están dotadas de sensores y otros instrumentos digitales, capaces de recolectar grandes cantidades de datos. Estas transnacionales han establecido alianzas con empresas de semillas, pesticidas y fertilizantes.

Algunas firmas de Asia y Latinoamérica han iniciado también compras de tecnología digital para grandes las grandes haciendas en Norte y Sudamérica. La empresa de la India Mahindra Farm -posiblemente la tercera más grande productora de tractores por su volumen-, Equipment compró acciones en una empresa de agricultura digital especializada en caña de azúcar llamada Gamaya y estableció un centro de investigaciones agrícolas conectada con la Virginia Tech University[7].

La más grande empresa de tractores de la China del grupo YTO, está desarrollando tractores sin conductor y la siguiente más grande de Foton Lovol se está expandiendo rápidamente, desafiando a las grandes empresas tradicionales. Por ejemplo, compró a la italiana MaterMacc, especializada en maquinaria agrícola de precisión[8].

## GRANDES COMPAÑÍAS DE TECNOLOGÍA

Las grandes empresas de tecnología digital como Microsoft, Amazon, Appel, Google, Alibaba y SAP han estado comprando e invirtiendo en tecnologías agrícolas a lo largo de toda la década del 2000.

Para el sector alimenticio y agrícola, IBM ha desarrollado un gran número de aplicaciones. A través de su plataforma *Watson Decision Platform for Agriculture* da servicios de manejo de fincas a través de información a los agricultores. De su plataforma IBM dice:

> Esta nueva plataforma es una innovación que aprovecha las capacidades más avanzadas de IBM en IA, análisis, Internet de las cosas (IdC), nube y clima para crear un conjunto de soluciones que abarcan todo el ecosistema de la granja a la mesa [9].

IBM tiene una alianza con la empresa de fertilizantes Yara para expandir sus programas agrícolas.

Las empresas tecnológicas chinas empezaron con el comercio electrónico a través de plataformas para vender bienes agrícolas y no agrícolas digitales para pequeños pueblos. Cuando la economía China empezó a deprimirse, las empresas tecnológicas se volcaron hacia la agricultura y la alimentación, como una nueva área de acumulación. Se concentran en inteligencia artificial y otras herramientas digitales para enfermedades de ganado vacuno y porcino[10].

La plataforma Tanahmu trabaja con Alibaba Cloud, fundamentadas con *big data*, para almacenar información sobre prácticas agrícolas, condiciones climáticas locales, ubicación del suministro de materias primas y productos, acceso al mercado y precios; y está dirigida a seis categorías de actores de la industria: agricultores, proveedores de materias primas, productores de productos, mayoristas, minoristas y consumidores. Tanahmu dice que "los datos son el nuevo suelo que debe extraerse y analizarse[11]."

## EMPRESAS INDUSTRIALES NO AGRÍCOLAS

Estas son las empresas industriales que fabrican varios de los componentes necesarios para la agricultura digital. Este es el caso de Bosch (basada en Alemania) que tradicionalmente ha sido una de las mayores empresas especializada en equipos hidráulicos, hoy se ha diversificado hacia equipos agrícolas Bosch, pues utiliza tecnologías de sensores, IdC y maquinarias de sistemas de conectividad

La china XAG originalmente vendía drones para consumidores a pequeña escala y luego se enfocó en drones para aplicar pesticidas. Hoy, es una empresa líder mundial en robótica agrícola[12].

## EMPRESAS *START UP*

*Start up* es el nombre que reciben las empresas jóvenes, que tienen poco tiempo en el mercado, con un fuerte componente tecnológico,

partiendo de una idea innovadora. Suelen operar con costes mínimos, con la esperanza de obtener ganancias que aumentan exponencialmente a lo largo del tiempo. Funcionan con capital de riesgo.

Algunas de estas empresas provienen de universidades, empresas tecnología digital o productoras de agroquímicos, pero la mayoría (en términos numéricos) son emprendedores con conocimientos de software y agricultura, y con acceso a financiación.

Hay cientos de pequeñas firmas que esencialmente desarrollan y proveen innovaciones digitales para el agronegocio, incluyendo empresas de software de gestión agrícola; empresas de agricultura de precisión, proveedores de mercados para transacciones entre empresas, robótica, etc. Algunas de estas *star up*, son luego adquiridas por corporaciones transnacionales, cuando han conseguido desarrollar alguna tecnología con un buen potencial económico.

Los "Uber para tractores" son plataformas digitales que se usan en algunos países africanos y en la India, desarrolladas por las empresas Hello Tractor[13]. Consiste en el alquiler de la maquinaria agrícola con conductor por horas o días a través de una aplicación móvil[14].

## CAMBIOS PRODUCIDOS POR LA DIGITALIZACIÓN DE LA AGRICULTURA

La inserción de las grandes empresas de tecnología digital a la producción agropecuaria ha producido algunos cambios en el sector[15]:

Las principales empresas de insumos agropecuarios incluyen en su catálogo la prestación de servicios digitales. Están cambiando sus modelos de negocio: de proveedoras de pesticidas, semillas, fertilizantes, a proveedoras de servicios.

Las grandes empresas de datos, de insumos y maquinaria agrícola, están adquiriendo negocios que ofrecen servicios digitales agrícolas de distinto tipo, estableciéndose una integración horizontal y una mayor concentración del sistema agroalimentario global.

En el desarrollo de semillas genéticamente editadas, aunque no están aún bien posesionadas en el mercado, hay mucha investigación, basada en inteligencia artificial.

Instituciones financieras y fondos de inversión están cada vez más insertados en la cadena agroalimentaria, a través de seguros agrícolas y servicios de riesgos financieros agrícolas.

Se están haciendo perfilamiento de comunidades, productores, fincas, identificar sus prácticas productivas, lo que puede servir para predicciones discriminatorias, lo que implica nuevas formas de control del proceso productivo en los territorios.

Algunas empresas solo pueden empezar a dar resultados predictivos para la toma de decisiones agrícolas, después de dos años de recopilación de datos, y esos datos pueden ser transformados en mercancías.

Las plataformas de manejo de los predios agrícolas tienen un potencial de producir cambios entre el empresario y sus trabajadores. Las tecnologías digitales pueden alentar modelos de trabajo tipo "Taylorismo[16] digital", nuevas formas de vigilancia en el lugar de trabajo, como el movimiento de los trabajadores, y o establecer formas de trabajo más automatizadas y estandarizadas.

La profundización del comercio digital el uso de *blockchain* y de códigos QR.

Profundización del rol de los supermercados en establecen los estándares y la trazabilidad de los productos, a través de mecanismos digitales, y trazabilidad.

La inserción de estas nuevas tecnologías en la agricultura del tercer mundo es otro factor importante, por la pérdida de soberanía productiva en el mundo rural.

## TIPIFICACIÓN DE LAS EMPRESAS INVOLUCRADAS EN LA CADENA AGROALIMENTARIA DIGITAL

| | |
|---|---|
| **INSUMOS AGRÍCOLAS** | Semillas editadas genéticamente, seguros basados en datos |
| **OPERACIONES AGRÍCOLAS** | Equipos de agricultura de precisión, plataformas de manejo de fincas |
| **COMERCIO INTERNACIONAL** | Comercio digital |
| **PROCESAMIENTO DE ALIMENTOS** | Impresión 3D |
| **EMPACADO** | Empacado inteligente |
| **TRANSPORTE** | Logística digital para transporte |
| **ALMACENAMIENTO** | Almacenes automatizados |
| **VENTA AL MINOREO** | Compras inteligentes, plataformas de e-comercio |

Basado en: Prause, Hackfort y Lindgren (2021)

# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. BASF Ecuador (2022). ¿Qué es la Agricultura 4.0? https://agriculture.basf.com/ec/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-4-0

2. Birner R., Daum T. y Pray C. (2021). Who drives the digital revolution in agroculture? A review of supply-side trends, players and challenges. Apllied Economic Perspectives and Policy: 43: 1260 – 1285.

3. Birner R., et al (2021). Who drives the digital revolution in agricultura? A review of supply-side trends players and challenges. Applied Ecnomic Perspective. 43: 1260 - 1285

4. Bayer (2026). Bayer Climate Strategy. Transition and Transformation Plan. Mitigation, Adaptation & Access. https://www.bayer.com/sites/default/files/bag-transition-transformation-plan-march-2026.pdf

5. ETC Group (2022). Plataformas agrodigitales. Sometimiento tecnológico de la agricultura y la alimentación

6. https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/portafolio-de-agricultura-digital/

7. https://news.vt.edu/articles/2018/04/outreach-mahindraannouncement.html

8. Birner et al (2021), obra citada

9. IBM Watson. (s/f). From Seed to Server: The Evolution of Modern Agriculture.

10. Birner et al (2021), obra citada

11. https://www.alibabacloud.com/en/customers/tanahmu?_p_lc=1

12. https://www.xa.com

13. Bejarano P. (2017). En India han inventado un Uber para tractores. https://blogthinkbig.com/en-india-han-inventado-un-uber-para-tractores

14. Daum, Thomas, Roberto Villalba, Oluwakayode Anidi, Sharon Masakhwe Mayienga, Saurabh Gupta, and Regina Birner. 2020. "Uber for Tractors? Opportunities and Challenges of Digital Tools for Tractor Hire in India and Nigeria." Hohenheim Working Papers on Social and Institutional Change in Agricultural Develop-ment. WP 001-2020, Stuttgart: University of Hohenheim. https://490c.uni-hohenheim.de/en/75736

15. Con base a Prause, et al (2021) y Birner et al (2021), obra citada

16. El Taylorismo es un sistema de organización del trabajo para maximizar eficiencia y productividad industrial hay una división estricta de tareas cronometraje del movimiento y pago por rendimientos.

# 3. VISIONES Y ACCIONES DE ORGANIZACIONES INTERGUBERNAMENTALES SOBRE LA AGRICULTURA DIGITAL

Varias agencias del sistema de Naciones Unidas y otras instituciones intergubernamentales promueven activamente la digitalización en la agricultura.

La agricultura digital se promociona desde distintas instancias intergubernamentales porque contribuyen a la transformación rural, aumentando la productividad agrícola y la competitividad en los sistemas alimentarios. Se argumenta además promoverá el crecimiento socioeconómico, la igualdad de género y los derechos humanos, y mejorará los medios de vida rurales mediante el desarrollo de políticas integrales centradas en los agricultores. Esas mismas promesas fueron hechas en la década de 1990 cuando se estaban posicionado los cultivos transgénicos, y sabemos que tres décadas después, ninguna de estas promesas se ha cumplido; al contrario, se han exacerbado las diferencias en el mundo rural y ha aumentado el deterioro ambiental.

A continuación se presentan las visiones y acciones de algunas de estas agencias sobre agricultura digital.

## PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA - FAO

La FAO es la organización de las Naciones Unidas encargada del desarrollo agrícola y alimenticios, y lidera la promoción de las "innovaciones digitales "para el agro, a través de su Unidad de Agricultura Digital de la FAO, dentro de la Oficina de Innovación. Se propone revitalizar las estrategias nacionales de ciberagricultura existentes y el marco para fortalecer el apoyo a los países miembros con el fin de implementar un enfoque estratégico para la transformación digital del sector agroalimentario, desde las políticas hasta los servicios digitales[1].

Enfatiza la importancia de la innovación en inteligencia artificial para la transformación de sistemas agroalimentarios más eficientes, sostenibles y resilientes, a través de la agricultura de precisión y la

agricultura climáticamente inteligente, hasta la optimización de la cadena de suministro y el acceso a los mercados[2].

Como agencia especializada en el desarrollo agrícola, FAO apoya la innovación en la agricultura digital y la inteligencia artificial a través de desarrollo de capacidades e intercambio de conocimientos, desarrollo de políticas y gobernanza y de sistemas regulatorios robustos, entre otros aspectos.

El discurso de FAO sigue las líneas típicas de quienes proponen nuevas tecnologías cuestionadas para el sector agrícola: en el planeta hay más de 7 mil millones de personas y se prevé que para 2050 serán 9,6 mil millones. La producción total de alimentos debe duplicarse en un período relativamente corto para satisfacer la demanda de alimentos de la población mundial. Por lo tanto, es imperativo que los diferentes actores agrícolas revolucionen la agricultura tradicional.

Sin embargo aclara que, si bien las tecnologías digitales pueden contribuir significativamente al logro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, también plantean desafíos económicos, sociales y éticos, en particular al uso responsable de los datos. Para la FAO, los gobiernos pueden desempeñar un papel fundamental en la creación de un entorno propicio para el florecimiento de las tecnologías en la agricultura.

A través del Consejo Internacional para la Alimentación y la Agricultura[3] se propuso la creación de un Consejo Digital Internacional para la Alimentación y la Agricultura (renombrado como Plataforma Internacional para la Alimentación y la Agricultura Digitales). Participación 74 ministros de Agricultura y representantes de alto nivel de organizaciones internacionales, como el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo, el Programa Mundial de Alimentos, la Organización Mundial de Salud Animal (OIE) y la Organización Mundial de Comercio.

Esta es una iniciativa de la FAO diseñada para coordinar la transformación tecnológica del sector agroalimentario global. Su objetivo es actuar como un foro "neutral" para que los gobiernos compartan experiencias, eviten duplicar esfuerzos y reciban recomendaciones estratégicas sobre el uso de herramientas digitales en agricultura.

Se propuso desarrollar directrices voluntarias y normas éticas para abordar retos como la protección de datos, la ciberseguridad y la propiedad de la información en el campo; conectar a organizaciones de la economía digital con entidades agrícolas para asegurar que las necesidades de los agricultores se consideren en las regulaciones tecnológicas globales y facilitar el acceso de pequeños agricultores a la tecnología para evitar que la brecha digital aumente la desigualdad en las zonas rurales.

Se crea un mecanismo de coordinación para facilitar el diálogo entre gobiernos, organizaciones de agricultores, sociedad civil, academia, técnicos y el sector privado[4].

Proyecto de la FAO de agricultura digital en Perú. Foto: FAO

Otra iniciativa de la FAO fue el subprograma para establecer una Red Global de Centros de Innovación en Agricultura Digital[5]; una red de centros de innovación nacionales, establecida por la FAO e instituciones nacionales, que trabajará con agricultores y actores de la cadena de valor, especialmente jóvenes y mujeres, para aumentar su competitividad acelerando el desarrollo y la adopción de innovaciones digitales.

El objetivo de los hub es facilitar la integración de las innovaciones digitales en la agricultura y contribuir a la transformación digital de los sistemas agroalimentarios. Al mismo tiempo, buscan aumentar la productividad, gestionar los riesgos climáticos y diversificar las economías rurales de forma sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental.

En otra línea de acción, FAO trabaja de cerca con las empresas de tecnología, como fue el Diálogo de Innovación Digital Blockchain para la Sostenibilidad en la Agricultura, organizado por la División de Tecnología de la Información de la FAO, en el que estuvieron presentes empresas como Alibaba Cloud, IBM y varias otras vinculadas con tecnologías digitales para la alimentación y la agricultura. El objetivo fue mejorar el intercambio de conocimientos y el aprendizaje entre profesionales multidisciplinarios de la innovación y el personal de la FAO[6].

En el Foro de la Cumbre Mundial sobre la Sociedad de la Información en 2025, la FAO enfatizó el potencial transformador que tienen las TIC y de otras herramientas digitales para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la promoción de las tecnologías digitales para la transformación de los sistemas agroalimentarios[7], y apoyar a los agricultores en la toma de decisiones, la gestión de cultivos y la conservación de los recursos naturales.

En el Foro de Agricultura Digital 2025 en Wuzhen - China, el representante de FAO señaló que los sistemas agroalimentarios enfrentan a problemáticas complejas como el cambio climático, pérdida

de biodiversidad, aumento de costos de los alimentos, inseguridad alimentaria y desigualdad rural. En este escenario la digitalización, y en particular la IA, ofrece soluciones poderosas para acelerar el progreso. Destacó que las soluciones digitales permiten a los agricultores y a los responsables políticos tomar decisiones basadas en datos, mejorar la productividad, optimizar el uso de los recursos y conectar a los productores con los mercados. Más importante aún, señaló que estas tecnologías ayudan a reducir la brecha digital rural, empoderando a jóvenes, mujeres y pequeños agricultores para que participen plenamente en la economía digital[8].

## FIDA

El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) es una institución financiera internacional y un organismo de las Naciones Unidas, con sede en Roma, especializado en desarrollo rural.

Para FIDA, la transformación rural no puede depender sólo de políticas públicas y de financiamiento para el desarrollo, sino que es esencial el rol que puede tener el sector privado. Sostiene que, cuando se establecen asociaciones público-privadas-productores, los ingresos se incrementan en un 64%, por lo que es necesario mejorar la gobernanza, las habilidades empresariales y la capacidad de agregación de estas organizaciones para convertirlas en "socios comerciales confiables", y disminuir los costos de transacción para el sector privado[9]. Podemos ver que en realidad FIDA está hablando de productores agrícolas subordinados al agronegocio.

Desde esta visión FIDA[10] sostiene que la agricultura digital y la transformación rural, sostiene que estas tecnologías mejoran la productividad agrícola, la eficiencia en las cadenas de valor y apoyar en la toma de decisiones.

En su discurso, vuelve a mencionar la creciente población mundial que necesita alimentarse, los problemas de desigualdad rural, de género y la inseguridad alimentaria, por lo que es necesario incrementar

los rendimientos de los pequeños agricultores, disminuir las pérdidas, mejorar sus finanzas y el acceso a los mercados.

Para ello es necesario la integración de tecnologías digitales en las economías rurales, lo que hará al sistema agroalimentario más sustentable, pues a medida que las tecnologías digitales se hacen más disponibles, se muestra la ineficiencia de los mercados tradicionales.

Uso de tecnologías de Inteligencia Artificial en la agricultura.
Foto: FIDA

Añade que hay una demanda de soluciones inteligentes para el pequeño productor, como información de mercados, sistemas que mejoran la transparencia de los precios, que empoderan a los productores, facilitan la trazabilidad digital, los servicios de finanzas móviles, entre otros. Todos estos aspectos están relacionados con facilitar el comercio internacional.

Su estrategia es identificar algunos actores claves como el CGIAR que lidera la investigación sobre innovaciones digitales, incluyendo IA para el mejoramiento, bases de datos digitales de genotipos y fenotipos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones climáticamente inteligentes. Identifica el papel clave del Banco Interamericano de Desarrollo en América Latina y el Caribe, que financia infraestructura de banda ancha, apoyando centros de tecnología agrícola y promoviendo políticas agrícolas basadas en datos a través de plataformas regionales y alianzas público-privadas; mientras que el Banco Mundial que El Banco Mundial apoya a los gobiernos en el desarrollo de hojas de ruta nacionales para la agricultura

digital, el fortalecimiento de los ecosistemas de datos y la inversión en infraestructura a gran escala.

Entre los actores privados incluye la Fundación Gates, empresas tecnológicas, empresas de tecnología agrícola, de tecnología financiera y los operadores de redes móviles: sectores de mucho poder económico y político sin duda.

Las prioridades de FIDA para la digitalización agrícola son:

- Registros de agricultores e infraestructura pública digital para la transformación agrícola.
- Aprovechamiento de la IA y los datos para mejorar los servicios de asesoramiento en extensionismo agrícola.
- Facilitar el acceso a la financiación y un acceso eficiente al mercado para los pequeños productores.

## PNUD

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD - maneja un discurso similar al de FAO, al que añade la sustentabilidad y el cambio climático.

Sostienen que inteligencia artificial (IA), la cadena de bloques (*blockchain*[11]), la computación en la nube y el internet de las cosas (IdC), tienen el potencial de revolucionar los sistemas alimentarios y agrícolas a nivel mundial.

> Las tecnologías de agricultura de precisión que utilizan IA, capaces de mejorar la eficiencia de los recursos y la productividad agrícola, los sistemas *blockchain* integrados con el IdC que pueden mejorar la trazabilidad de la cadena de suministro y las proteínas alternativas que pueden reducir el impacto ambiental de la producción cárnica convencional, se encuentran entre las numerosas tecnologías que están cambiando la forma en que cultivamos y consumimos alimentos[12].

Digitalización agrícola

Con la iniciativa "Blockchain para la Trazabilidad Alimentaria[13]" se está diseñando un estudio de caso y una nota conceptual que explique cómo funcionan las tecnologías *blockchain* y sus beneficios para la trazabilidad alimentaria para los diferentes actores de la cadena de suministro, incluyendo ejemplos exitosos.

PNUD está evaluando en detalle las fincas digitales y la agricultura de precisión, sus aplicaciones, resultados, impacto y viabilidad de uso, para proporcionar a los gobiernos y responsables políticos, un desglose detallado de los beneficios cuantificables de las diversas tecnologías de agricultura digital e informarles sobre los mejores métodos para su transferencia y aplicación.

El PNUD sostiene algunas iniciativas de promoción de la digitalización en la agricultura.  A través de su programa Cultiv@te, seleccionó una propuesta para Ecuador del "Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible" (PROAmazonía), de agricultura sostenible. El objetivo es incorporar sistemas

de trazabilidad a la cadena productiva de carne de ganado vacuno para que satisfaga las necesidades de sistemas de certificación. Incluye un sistema basado en *blockchain* e internet de las cosas y tecnologías geoespaciales[14].

El mismo proyecto Proamazonía (Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible) trabaja con plantaciones de palma en una coordinación conformada por los ministerios de ambiente y agricultura y el programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y una alianza estratégica con el BID Invest para que puedan implementar un sistema de digitalización con pequeños palmicultores amazónicos[15].

Entre los objetivos del programa es recolectar y digitalizar datos sobre plagas y enfermedades y generar alertas en tiempo real, diseminar información sobre buenas prácticas de agricultura, y que estos pequeños palmicultores hagan una producción sustentable de la palma, para que obtengan una certificación de la Mesa Redonda de Palma Sustentable (RSPO).

Pero nos preguntamos: ¿Cómo pueden alcanzar la sustentabilidad si la producción está destinada a la agroexportación? En el análisis de sustentabilidad no se considera que la palma amazónica ha convertido bosques en plantaciones, ha desplazado comunidades locales, que su producto tiene que ser transportada a las regiones donde sufren su transformación en aceite u otros derivados, y que luego son exportados al resto del mundo, lo que implica el uso de grandes cantidades de energía. Con o sin digitalización la producción de palma en la Amazonía no es ni será un modelo sustentable ni circular, ni contribuye a enfrentar al cambio climático.

En contraste, para los proponentes de las tecnologías de Agricultura 4.0 y digitalización, estas permiten aumentar la eficiencia en toda la cadena productiva, es más flexible y productiva; reduce la generación de residuos y hace un menor uso de recursos.

## CEPAL

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)[16] impulsa el proyecto llamado AGRO 4.0.

Su objetivo general es apoyar la transición productiva hacia una agricultura más sostenible y eficiente en América Latina, a través de la adopción de tecnologías digitales; y los objetivos específicos incluyen la creación de la Red Iberoamericana de Digitalización de la Agricultura y la Ganadería, en la que participan los institutos de investigación agrícola de la región, universidades y centros tecnológicos seleccionados; la creación de un Observatorio de la Agricultura Digital en América Latina; la promoción del emprendimiento para innovar y agregar valor a través de la aplicación de nuevas tecnologías digitales y el mejoramiento de las políticas públicas y los mecanismos institucionales relacionados con la promoción de la agricultura digital, a través de un Fondo de Asistencia Técnica[17].

Sostiene que este nuevo paradigma puede ayudar a agregar valor y diversificar la producción en el sector agroalimentario. Añade que hay una aceleración de la digitalización de los procesos de producción, debido al desarrollo de herramientas y máquinas interconectadas, y que estas tecnologías empiezan a aplicarse en la agricultura, la agroindustria y los territorios rurales, a través de plataformas digitales, sensores, internet de las cosas, robots, drones, *big data*, *cloud computing*[18], inteligencia artificial y *blockchain*. Sin embargo, son todavía poco utilizadas en el sector agroalimentario de la región, sobre todo entre los pequeños productores o agricultores familiares.

Como propuestas plantea que es necesario buscar nuevos mecanismos institucionales, más eficaces y participativos, en los cuales las comunidades locales asuman un rol activo. Ellos deben conectarse con los mecanismos de gobernanza definidos por los gobiernos, dándole también un papel activo a las empresas[19] . Añade que apoyar la transición productiva significa una agricultura más

sostenible y eficiente en América Latina, a través de la adopción de tecnologías digitales.

Entre otros análisis sugiere que las tecnologías digitales pueden contribuir a la transición agroecológica[20]. Señalan que la agricultura de precisión y otras tecnologías digitales son compatibles con la producción agroecológica pues resuelven problemas y cuellos de botella, al igual a lo que sucede en otras cadenas de producción. De manera más específica CEPAL analizan cómo las diferentes herramientas de la digitalización podrían ayudar a la transición agroecológica a través de plataformas digitales, sensores, drones, robots, internet de las cosas, *big data, cloud computing*, inteligencia artificial y *blockchain*.

Las propuestas hechas para las distintas herramientas son las mismas que se hacen para la agricultura convencional, pues incluyen precisión en el uso de agroquímicos, fertilizantes, desplazamiento de mano de obra, homogenización de procesos usando datos agronómicos históricos; todo muy enfocado en la agroexportación y los negocios agrícolas, incluyendo propuestas como los contratos inteligentes, trazabilidad para etiquetado, entre otros.

## IICA

El IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) es el organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano, cuya misión es impulsar el desarrollo agrícola y rural en los 34 países miembros en la OEA. Ha sido responsable de impulsar la revolución verde y biotecnológica en la región, y ahora la digitalización agrícola (Agtech).

En su análisis sobre la digitalización agrícola el IICA[21] identifica a América Latina como la región con un un enorme potencial para la transformación digital del agro, pero requiere de mayor articulación entre actores, financiamiento adecuado y adopción estratégica de tecnologías.

Añade que, a diferencia de otras regiones, aquí se combina una alta capacidad productiva y biodiversidad, una creciente comunidad de emprendimientos Agtech, y redes sólidas de investigación pública, lo que permite diseñar soluciones adaptadas y validadas en situaciones productivas y rurales muy heterogéneas.

Recomienda una mayor colaboración público-privada, el desarrollo de políticas para la digitalización agropecuaria y el fortalecimiento de modelos de financiamiento sostenibles, y propone la formulación de algunas Políticas de Digitalización Agropecuaria, como las siguientes:

Que los ministerios de agricultura lideren estrategias de digitalización sectorial, incluyendo agendas de transformación digitalización específicas para el agro, coordinación entre los distintos ministerios involucrados en la digitalización agropecuaria, en interacción continua con los principales actores involucrados en la agricultura digital; desarrollar nuevos instrumentos de políticas que incluyan modelos de compra pública de innovación y los fondos concursables con condicionalidades para la articulación institucional (empresa, gobiernos descentralizados, academia y ministerios), con visión de mediano plazo, para acercar los gobiernos a las Agtech y estimular la "digitalización responsable" a través de política pública y sus institutos de investigación agrícola.

En el tema de financiamiento, el IICA propone de manera más específica fomentar que la inversión en Agtech provenga de los usuarios finales, como son los productores y las cooperativas, y recomienda la implementación de modelos de inversión por fases, entendiendo las especificidades del Agtech, para lo que se necesita créditos y capacitación, para facilitar la adopción de estas tecnologías a los pequeños y medianos agricultores.

En colaboración con Endeavor Argentina[22], el IICA lanzó el programa AgTech Accelerator (que ya está en su segunda edición), diseñado para brindar capacitación intensiva y herramientas estratégicas y prácticas a emprendimientos startups de AgTech en la región.

## BANCO MUNDIAL

De acuerdo al Banco Mundial, la agricultura digital es importante porque puede ayudar a mejorar la seguridad alimentaria al hacer que el sistema alimentario sea más eficiente, sostenible y equitativo. Las tecnologías digitales pueden ayudar a reducir costos, aumentar la productividad, mejorar la calidad, optimizar el uso de recursos, mitigar riesgos, empoderar a agricultores y consumidores, y facilitar el acceso al mercado[23].

El Banco Mundial[24] apoya financieramente a emprendedores startups de agrotecnología centradas en la seguridad alimentaria, especialmente en países africanos. En este caso se mira una tendencia similar a lo que sucedió cuando se estaba posicionando la agricultura transgénica a fines de la década de 1990 e inicios del 2000, cuando muchos esfuerzos se centraron en financiar a pequeños agricultores de África. En el caso de la digitalización, se destaca el programa *Hello Tractor*: una plataforma de servicio de tractores inteligentes para pequeños agricultores en África basada en aplicaciones. Este programa se ha convertido en un programa vitrina para promocionar el éxito de la digitalización para pequeños productores africanos[25].

Otra iniciativa del Banco Mundial es el "Día de la Innovación en la Agricultura Digital", un evento anual que reúne a emprendedores, inversores, responsables políticos y expertos para debatir y demostrar cómo las tecnologías digitales pueden transformar la agricultura. Se complementa con el *AgriTech Bootcamp*, un programa de formación que ayuda a los emprendedores a desarrollar sus modelos de negocio y presentar sus soluciones a posibles inversores.

Por otro lado, los Laboratorios de Innovación del Grupo Banco Mundial son una red de centros dirigido a innovadores de diferentes sectores, incluido el agrícola. El Modelo de Madurez de la Agricultura Digital es una herramienta de autoevaluación que ayuda a los emprendedores a medir su progreso e identificar brechas

en sus aplicaciones agrícolas digitales. La plataforma web Datos Abiertos del Banco Mundial contiene datos sobre agricultura y seguridad alimentaria.

El Banco Mundial apoya además planes estratégicos nacionales y regionales "para la agricultura y la seguridad alimentaria en países de bajos ingresos" a través de su Programa Mundial de Agricultura y Seguridad Alimentaria (GAFSP).

Otorgar además préstamos o créditos a través de la Asociación Internacional de Fomento (AIF), que ofrece financiamiento de digitalización agrícola en condiciones concesionarias a países de bajos ingresos.

Por su parte, la Corporación Financiera International (IFC), el brazo del Banco Mundial para el sector privado que financia a empresas privadas, da créditos a empresas que quieren invertir en la transformación agrícola digital.

A través de su Ventanilla del Sector Privado del Programa Global de Agricultura y Seguridad Alimentaria (GAFSP)[26] utiliza "soluciones" financieras combinadas y financiación concesional para apoyar proyectos diseñados para mejorar los medios de vida de los pequeños agricultores que viven en los países más pobres del mundo, invirtiendo en toda la cadena de suministro de alimentos, desde los insumos agrícolas hasta la logística y el almacenamiento, el procesamiento y la financiación.

> A través del Fondo de Agrotecnología Inclusiva (FAI), lanzado con la Fundación Gates, la IFC ha financiad empresas de tecnología agrícola (agrotecnología) en algunos países del Asia, pr ejemplo a través del Omnivore Agritech & Climate Sustainability Fund 3, un fondo de capital de riesgo con sede en India. Omnivore es una gestora global de fondos en agrotecnología. Trabaja en la cadena digital de valor. El fondo se centra en los subsectores de agrotecnología y tecnología alimentaria, incluyendo: plataformas

agrícolas, agricultura de precisión; mercados agrícolas B2B; marcas de la granja al consumidor (f2C); ciencias de la vida agroalimentarias; y tecnologías postcosecha[27].

## BID Y BID INVEST

El Banco Interamericano de Desarrollo BID es un banco multilateral de desarrollo en América Latina, que trabaja con el sector público en 26 países de la región.

El BID da préstamos reembolsables y no reembolsables a los Estados, para catalizar la adopción de herramientas AgTech, con el argumento de que éstas van a mejorar la productividad el acceso a la financiación y a los mercados, y la resistencia al clima.

En Ecuador, el BID otorgó un financiamiento a los servicios públicos agropecuarios para, entre otros aspectos, "la implementación de soluciones digitales avanzadas basadas en inteligencia artificial, realidad virtual, y la capacitación de técnicos y productores en la transferencia y adopción de nuevas tecnologías" [28]. La operación será ejecutada por el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario (AGROCALIDAD), entidades adscritas al Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Su brazo empresarial BID INVEST, apoya también proyectos relacionados con la transformación digital agrícola como la inteligencia artificial, la automatización, *big data*, internet de las cosas, para crear un efecto multiplicador en la generación de valor.

Con una visión de que Latinoamérica puede convertirse en el supermercado del mundo, por la riqueza de sus suelos, agua y recursos naturales. Ya es la mayor exportadora neta de productos agrícolas del mundo, pero hay aún varios desafíos por resolver (como el crecimiento de la población y el cambio climático), por lo que el sector necesita

más y mejor financiamiento, aumentar su competitividad y mejorar su eficiencia. Como solución propone la agricultura inteligente.

En su página web dice

> En el contexto de la postpandemia, el avance de la digitalización y la reconfiguración de las cadenas de valor a nivel global, es esencial que las empresas y sectores productivos de América Latina y el Caribe (ALC) desarrollen capacidades que les permitan elevar sus niveles de eficiencia y productividad. La promoción de la innovación, la adopción de tecnologías digitales y el fortalecimiento de las cadenas de valor pueden impulsar a la región para sacar el máximo provecho de las oportunidades de la economía digital. Este enfoque puede permitir a la región avanzar hacia un futuro más próspero y competitivo que beneficie a las empresas y a las personas que de ellas obtienen empleos de calidad y acceso a productos y servicios cada vez más asequibles[29].

En el campo del agronegocio, BID Invest otorga financiamiento a través de préstamos a largo plazo e instrumentos para optimizar la cadena de valor a los agronegocios. Describe tres modelos de negocios:

**Farming as a Service (FaaS):** Normalmente el sector agronegocio está relacionado con altas inversiones iniciales de capital para poder despegar. Este modelo está dirigido a medianos y pequeños productores y ofrece herramientas digitales o servicios mediante un modelo de suscripción o pago por uso (productivas y gestión de mercados), un tipo de arrendamiento de maquinaria como robots, tractores inteligentes, drones o cualquier dispositivo IdC.

**Plataformas de eCommerce:** que está relacionado con la cadena de alimentos desde el productor hasta llegar al consumidor final. Está habilitado por el aumento de la penetración de los teléfonos móviles, el crecimiento del comercio electrónico los pagos digitales.

**Biotecnología agrícola:** BID Invest sugiere que estas tecnologías pueden combinarse con biotecnología agrícola, como los cultivos (transgénicos o por edición génica) climáticamente inteligentes, y la reducción de agroquímicos.

---

¿A quién beneficia verdaderamente este modelo descrito, que es promovido con tanto entusiasmo por estas organizaciones intergubernamentales? ¿A los distintos actores privados que van desde los gigantes tecnológicos, las transnacionales del agronegocio hasta el sector financiero y especulativa? ¿o a la agricultura campesina, la sustentabilidad y la naturaleza?

# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. FAO (2019). Digital agriculture transformation and digital innovation. Roma https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/146f43d1-7db5-4728-929c-e603d5533c45/content

2. FAO (s/f). Digital Agriculture and IA Innovation. https://www.fao.org/innovation/digital-agriculture-and-ai-innovation/en

3. https://www.fao.org/e-agriculture/es/node/15882

4. FAO (2029). Plataforma Internacional para la Alimentación y la Agricultura Digitales. 165 Período de Sesiones del Consejo, Tema 9: Plataforma Internacional para la Alimentación y la Agricultura Digitales. CL 164/9 https://openknowledge.fao.org/items/219e8c69-4690-4bff-a072-ae283d6ea838

5. https://www.fao.org/in-action/global-network-digital-agriculture-innovation-hubs/en

6. FAO (2019). Digital Agriculture transformation and digital innovation (2019). https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/146f43d1-7db5-4728-929c-e603d5533c45/content

7. https://www.itu.int/net4/wsis/forum/2024/Agenda/Session/349

8. https://www.fao.org/in-action/global-network-digital-agriculture-innovation-hubs/highlights/highlights-detail/fao-highlights-the-transformative-power-of-digital-innovation-at-the-digital-agriculture-forum-2025/en

9. IDAF (2026). Matching the Moment: The Role of the Private Sector in Delivering Rural Transformation.

10. IFAD (2025). Strategic discussion with the President of IFAD – Advancing IFAD's digital agriculture vision for rural transformation (2025–2030). Executive Board 145th Session. Roma.

11. La tecnología blockchain es un mecanismo de base de datos avanzado que permite compartir información de dentro de una red empresarial.

12. https://www.undp.org/sgtechcentre/sustainable-and-digital-agriculture-1

13. https://www.undp.org/publications/blockchain-agri-food-traceability

14. https://www.proamazonia.org/ppr/ecuador-ya-es-parte-de-cultivate-una-iniciativa-global-para-la-agricultura-sostenible/

15. ProAmazonía (s/f). Tecnologías móviles impulsarán el cultivo de palma sostenible en Ecuador. https://www.proamazonia.org/ppr/tecnologias-moviles-impulsaran-el-cultivo-de-palma-sostenible-en-ecuador-2

16. La Cepal es una de las cinco comisiones regionales de las Naciones Unidas.

17. CEPAL (2021). Tecnologías digitales para una revolución agrícola sostenible e inclusiva en los países en transición. https://www.cepal.org/es/proyectos/agro-40

18. Cloud computing es el acceso bajo demanda a recursos informáticos (servidores físicos o virtuales, almacenamiento de datos, capacidades de red, herramientas de desarrollo de aplicaciones, software, plataformas analíticas con IA y más) a través de Internet.

19. CEPAL (2021). Obra citada

20. CEPAL (2023). La digitalización al servicio de la transición agroecológica. https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/23-00546-folleto-la_digitalizacion_web_0.pdf

21. https://blog.iica.int/blog/promoviendo-digitalizacion-en-agricultura-7-iniciativas-politicas-que-impulsan-transformacion

22. https://www.endeavor.org.ar/programas/agtech-accelerator/

23. https://www.ictworks.org/world-bank-funding-digital-agriculture-startup-companies/

24. World Bank Group. Data Driven Digital Agricultura https://thedocs.worldbank.org/en/doc/1a163904ccb86646bf2e5d3d6f427f3d-0090012023/related/WB-DDAG-FA-web.pdf

25. Daum, T., and Regina B. (2020). "Agricultural Mechanization in Africa: Myths, Realities and an Emerging Research Agenda." Global Food Security 26: 100393.

26. https://www.gafspfund.org/

27. International Finance Corporation. Agribusiness and Food Security. https://www.ifc.org/en/what-we-do/sector-expertise/blended-finance/blended-finance-agribusiness

28. Cavelier A. (2025). Ecuador fortalecerá sus servicios públicos agropecuarios con apoyo del BID. https://www.iadb.org/es/noticias/ecuador-fortalecera-sus-servicios-publicos-agropecuarios-con-apoyo-del-bid

29. BID Invest. Cómo las nuevas tecnologías están transformando los agronegocios en Latinoamérica y el Caribe. https://idbinvest.org/es/publicaciones/como-las-nuevas-tecnologias-estan-transformando-los-agronegocios-en-latinoamerica-y

# 4. DIGITALIZACIÓN EN EL SISTEMA AGROALIMENTARIO EN ECUADOR

En Ecuador se están dando algunos pasos para la aplicación de la agricultura digital, aunque su desarrollo es menor que en otras áreas de la economía. Sus aplicaciones son usadas por diferentes sectores del agronegocio; tanto el tradicional, como las grandes empresas productoras de commodities para el mercado mundial o para la agroindustria nacional. Hay un número de nuevas empresas starups[1] que están entrando en el mundo de la digitalización agrícola.

Un trabajo hecho por investigadores de la Universidad Agraria del Ecuador del 2024, muestra que en el país, se está aplicando la agricultura de precisión en sectores como la floricultura, bananeras y empresas azucareras, donde se emplea para riegos automatizados, control de plagas y monitoreo de las condiciones meteorológicas. Además, se destaca el uso de la agricultura de precisión en momentos de crisis climáticas[2].

La digitalización no se utiliza sólo la para la fase productiva de campo sino también para la transformación del producto primario en alimentos ultraprocesados u otros productos industrializados, empaquetado, trazabilidad, transporte y comercialización internacional o nacional y venta al consumidor final.

Para la agricultura digital, hay varias empresas *starups* pero también grandes corporaciones del agronegocio, que dan servicios tales como: agricultura de precisión, especialmente relacionadas con la fertilización de precisión fertiriego, pulverización inteligente (con plaguicidas biológicos y sintéticos), protección de cultivos (es decir, fumigaciones) mediante modelos basados en datos, monitoreo de

plagas y enfermedades, monitoreo de la maquinaria. monitoreo de los empleados.

En cuanto a las plataformas digitales que almacenan los datos, se incluyen:

- Plataforma para la toma inteligente de datos, plataformas de pago por demanda que registra la trazabilidad de los productos.
- Plataformas para generar alertas tempranas; indicadores de gestión (seguimiento y control de operaciones); ingreso a mercados y nuevos modelos de mercadeo.
- Tecnología "*blockchain*" para el registro de transacciones para monitorear toda la información de la cadena productiva y su comercialización y asegurar su trazabilidad en la cadena logística.
- Aplicaciones móviles desde un teléfono inteligente, cuya información se reporta en una plataforma web, para monitoreo del estado fitosanitario del cultivo, y con base a esa información, tomar decisiones sobre la aplicación de insumos.
- Software para aplicar normativas de buenas prácticas agrícolas o certificaciones.
- Software para centralizar los procesos de su cadena productiva.
- Programas de computación desarrollados para organizar, planificar y controlar el proceso productivo de los activos o cultivos de una empresa.

En esta sección se va a hacer una revisión de algunas aplicaciones que se están haciendo de digitalización agrícola, centrándonos en dos cultivos importantes de exportación: el banano y flores.

# DIGITALIZANDO LA PRODUCCIÓN DEL BANANO

En el Ecuador, el banano es el cultivo que más rápidamente ha adoptado innovaciones tecnológicas agrarias. En el caso de la digitalización, debido a su capacidad para optimizar los procesos agrícolas, mejorar la toma de decisiones y facilitar el monitoreo en tiempo real, el uso de tecnologías móviles y herramientas digitales en la producción bananera ha cobrado cada vez mayor relevancia, incluso en entornos rurales con infraestructura limitada.

En la industria bananera la digitalización permite generar información que facilita controlar el ciclo del banano. Con el uso de programas de geolocalización y digitalización de cada planta, se generan datos para predecir, analizar la situación actual, el comportamiento a largo plazo de las cosechas y la tendencia a nivel de racimo, caja y la producción en general, y dar sugerencias para la toma de decisiones. Es un proceso al que se le da el nombre de "negocios inteligentes".

En general, a través de la digitalización, el sector bananero busca generar información para detectar emergencias (surgimiento de plagas, malezas, temperaturas extremas), la evapotranspiración y absorción de agua de cada planta, lo que ayuda a predecir cuándo el racimo está listo para ser cortado, indicadores de rendimiento, la tendencia del racimo de la caja y de la producción. A través de sensores inteligente, se hacen predicciones sobre órdenes de corte, relacionadas con pesos electrónicos e inteligentes para cada tipo de cajas de banano; de tal manera que, dependiendo del destino final de la caja, el software le dice cuál es el peso óptimo para la exportación. Esto facilita la toma de decisiones en tiempo real, hacer predicciones a futuro y ver la tendencia del cultivo a largo plazo, y maximizar las ganancias del sector bananero ecuatoriano.

En una revisión sistemática de las aplicaciones de la digitalización en el sector bananero, investigadores de la Universidad Agraria y de Guayaquil[3], encontraron que las aplicaciones móviles son las predominante para clasificar la madurez de la fruta, detectar enfermedades, predecir los cultivos y registrar las condiciones ambientales.

Simultáneamente, el uso de sensores integrados y redes para la recopilación de datos en zonas sin cobertura de internet. También se emplean paneles y plataformas web, como para permitir la visualización remota de indicadores agrícolas.

Las herramientas digitales en el banano son usadas para el monitoreo ambiental (temperatura, humedad y condiciones del suelo), la detección temprana de enfermedades como la fusariosis o la sigatoka negra. Mediante modelos matemáticos y datos climáticos, el agricultor puede estimar el momento óptimo de cosecha y clasificar la madurez de la fruta mediante modelos de visión artificial.

En cuanto al nivel de automatización, más del 70 % de las herramientas corresponden a procesos automatizados. Estas herramientas utilizan inteligencia artificial o procesamiento integrado para recopilar, analizar y proporcionar retroalimentación en tiempo real. Sin embargo, también se reportaron aplicaciones asistidas manualmente, como la recopilación de datos a través de una aplicación móvil por parte del agricultor / trabajadore agrícola.

Uno de los problemas más graves de las plantaciones de banano destinadas a la agroexportación, es su alta susceptibilidad a enfermedades, justamente por la forma como se lo cultiva: extensos monocultivos, intenso uso de insumos químicos, pero sobre todo homogeneidad genética en el banano, pues este banano se reproduce a través de clones de la variedad Cavendish, y no por semillas, lo que empobrece su variabilidad genética. Las grandes plantaciones bananeras son el resultado de la aplicación de alta tecnología agrícola, la que ha resultado en la generación de problemas de manejo graves, como la emergencia de enfermedades, y frente a esto, se propone aplicar más tecnología, como es por ejemplo la edición génica y la digitalización.

En esta línea, el sector bananero recibe un fuerte apoyo estatal para enfrentar problemas fitosanitarios como es la emergencia Fusarium R4T es un tipo de enfermedad fúngica que afecta al banano. La

Digitalización del banano

agencia estatal Agrocalidad está socorriendo al sector bananero en la provincia de El Oro, donde se ha detectado un primer brote de esta enfermedad en una finca (zona cero).

Por otro lado, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP también trabaja en modelamientos para detección temprana de zonas anómalas con el uso de drones.

Alrededor de esta zona, Agrocalidad lleva a cabo de manera muy activa, un programa de vigilancia permanente con drones multiespectrales para detectar oportunamente cualquier fuga de la zona cero de Fusarium R4T. Los controles se hacen 2 a 3 veces por semana en esa zona[4].

De igual manera, Agrocalidad hace vigilancia remota y monitoreo de otra enfermedad del banano: el Moko de las musáceas, causada por la bacteria *Ralstonia solanacearum* raza 2.

En Los Ríos, donde hay unas 70 mil ha de plantaciones bananera, se han presentado alertas por la presencia de esta enfermedad. Como parte de las acciones del Gobierno Nacional, 20 técnicos de Agrocalidad recorren las plantaciones y realizan sobrevuelos con 18 drones[5].

Desde el sector privado, todas las empresas que trabajan en digitalización agrícola, incluyendo aquellas que están dedicadas exclusivamente para proveer servicios de digitalización agrícola de distinto tipo, como las tradicionales empresas proveedoras de insumos agrícolas (fertilizantes, fungicidas, etc.), trabajan con banano.

Por ejemplo, se está trabajando en aplicaciones también para la detección temprana de la enfermedad de la sigatoka negra[6], la enfermedad que más afecta a los cultivos de banano en Ecuador. Para el desarrollo de esta tecnología se ha utilizado un modelo de "redes neuronales convolucionales" con el fin de realizar una clasificación de imágenes y de esta forma poder detectar en qué fase se encuentra la sigatoka negra mediante una foto tomada desde el celular. Luego de que la fotografía es tomada, se calcula un índice del estado evolutivo en función a la información que muestre la aplicación y de esta forma el productor tendrá un conocimiento semanal del avance de la enfermedad en la plantación. Posteriormente se espera poder relacionar el estado evolutivo de la sigatoka con indicadores de clima.

Las principales herramientas digitales usadas por el sector privado incluyen sensores para monitorear humedad, temperatura y nutrientes del suelo; *big data* para analizar grandes volúmenes de datos para mejorar la toma de decisiones en la cadena de valor del banano, robots y sistemas autónomos para la siembra y cosechar; inteligencia artificial cuyo algoritmos ayudan a predecir rendimientos y detectar enfermedades, drones para la vigilancia

aérea para optimizar el uso de fertilizantes y pesticidas, internet de las cosas para la conexión de dispositivos para gestionar cultivos en tiempo real[7].

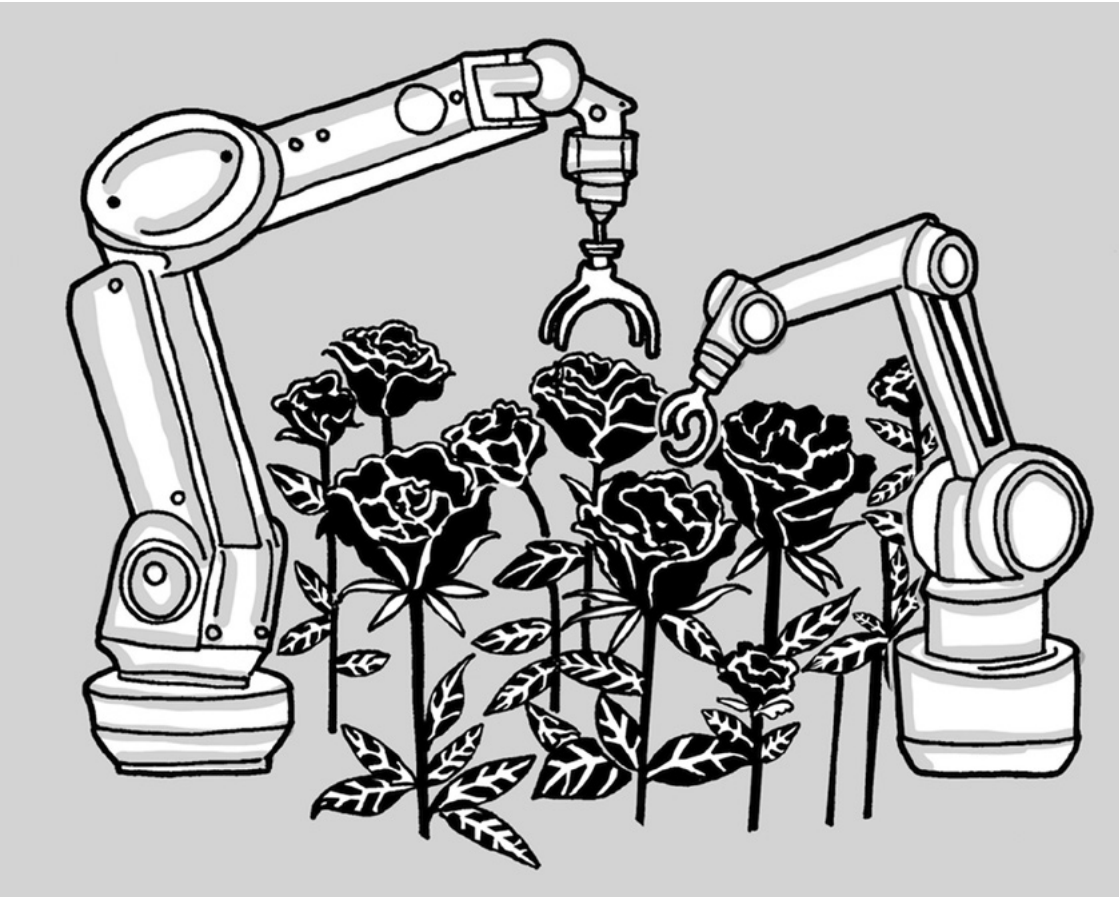
### Asegurando que las cajas no tengan exceso de peso

Se han desarrollado herramientas para un pesaje "inteligente" de cajas de banano con tecnologías en nube, internet de las cosas e inteligencia de negocios.

Con este sistema se podrá llevar una trazabilidad de la empacadora a la nube ya que sirve para digitalizar e implementar controles de una orden de corte relacionado con peso electrónico e inteligente de cada tipo de caja en tiempo real. El sistema ya está en funcionamiento en 8 empacadoras[8].

¿Servirá estas herramientas para favorecer también a los pequeños bananeros que entregan sus productos a las empacadoras y recibir el precio justo por sus cajas?

# DIGITALIZACIÓN EN LA FLORICULTURA



Las empresas florícolas ecuatorianas aplican la digitalización desde las etapas primarias de cultivo, la postcosecha, la venta y exportación a mercados internacionales.

A nivel de producción, se incluyen sistemas de riego y fertirriego, control de plagas y enfermedades (como la fumigación de precisión), el manejo de los invernaderos y el control de calidad[9].

Todos estos procesos se vinculan a una red con equipos de medición como sensores de temperaturas, de luminosidad, de control de plaga y enfermedades. Los datos se articulan con redes informáticas que almacenan información.

En florícolas de Cotopaxi se está investigando el uso de inteligencia artificial para analizar el estado edafológico en los invernaderos, y el uso de sensores y sistemas informáticos, para recoger datos de los suelos más aptos para el cultivo de rosas[10].

En la postcosecha todo se gestiona la trazabilidad de las flores y la gestión empresarial de fincas, la información obtenida en los manifiestos de carga trasmitidos al sistema Ecuapass (Sistema informático de Aduanas), certificados fitosanitarios vinculados con el sistema de Agrocalidad.

EXPOFLORES[11] tiene plataformas que trabaja con grupos colaborativos de consulta, módulos para capacitaciones como seminarios en línea, cursos y charlas; se ha vinculado con el Programa de Intercambio de Información de Clientes; los procesos de certificación de flores, módulos de gestión de bioseguridad, auditorías remotas. Se han adoptado además sistemas informáticos que permite a las empresas conocer en tiempo real la información de sus productos, durante el proceso de exportación.

Estas innovaciones permiten acceder a un proceso automatizado para llegar a mercados internacionales y gestionar la información en las negociaciones comerciales; es decir, acelerar el comercio internacional de flores.

En una tesis sobre el tema, Prieto (2024) encontró que el 87,1% de las empresas encuestadas utilizan tecnología de internet para varios procesos de gestión de datos, los que son transferidos y procesados en sistemas y plataformas informáticas específicas. Un 74 % han implementado sistemas de riego de alta tecnología, mientras que el 25,8% usan drones, para realizar mapeos de las áreas y fumigar,

y un porcentaje menor usa sistemas digitales para el monitoreo de plagas y enfermedades.

Un 38,7% de las empresas encuestadas aplican el *business intelligence*[12].

Dentro de la etapa de postcosecha, el 64,5% de floricultoras manejan la cadena de frío, asegurando una temperatura y humedad relativa óptima para su conservación, evitar plagas y enfermedad para su posterior exportación. Así mismo, se monitorea las condiciones de los suelos. Un 54,8% de las empresas encuestadas implementan sensores ambientales y de suelos para gestionar de manera adecuada estos procesos. Un 29% aplican tecnologías como la *big data* para garantizar calidad de post cosecha.

Riego "inteligente" para floricultura.

Las empresas señalaron que en el ámbito financiero hay costos excesivos para la innovación digital, y pocos incentivos para la inversión.

El autor identificó las siguientes herramientas digitales aplicadas en las empresas florícolas en las que se basó su estudio:

AMBIENT WEATHER: Sistema informático que permite monitorear las condiciones climáticas de los sistemas productivos mediante el uso de una estación meteorológica para medir factores ambientales externos y también mediante sensores climáticos inteligentes para medir los factores ambientales dentro de los invernaderos.

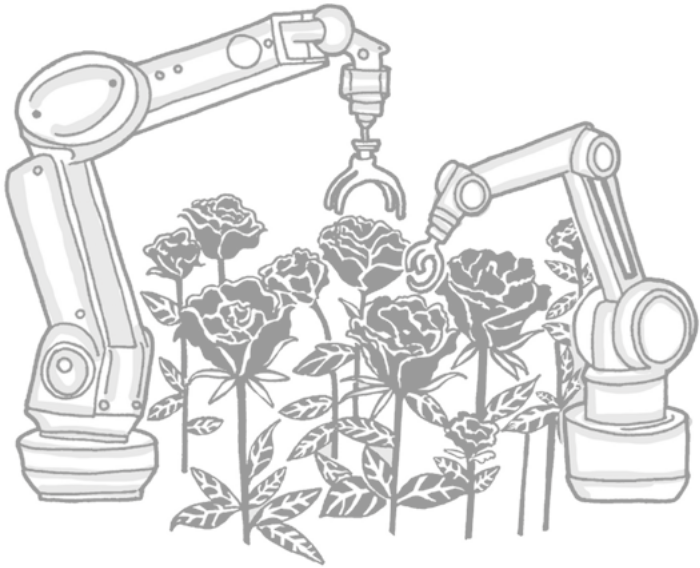
GALCON SMART IRRIGATION: Sistema computarizado digital de riego, que incluye riego y fertilización (fertirriego) de manera "precisa e inteligente". Permite gestionar fórmulas exactas de adición de fertilizantes y de esta forma se evita el desperdicio de agua. Además, permite administrar de manera precisa y automatizada el manejo de válvulas para el riego por goteo en las camas de cultivo dentro de los invernaderos.

SCARAB PRECISION: Sistema informático que permite una revisión integral de todos los parámetros de plagas y enfermedades en los cultivos de flores. En base a esta información y a los resultados obtenidos se hace un diagnóstico, se generan mapas de alta precisión y permite desarrollar una programación fitosanitaria para el control de plagas y enfermedades.

ASINFO (AS2): Sistema informático de gestión empresarial, para el monitoreo (trazabilidad) y control de los procesos ejecutados en la etapa de cultivo, la etapa de postcosecha hasta la venta en línea de los productos (rosas), además permiten gestionar de manera eficiente un manejo adecuado de inventarios (cuántas cajas entran, cuántas cajas salen, clientes, destino del producto). Permite tener un control de la producción, organizativo y financiero.

En ExpoFlor 2024[13], el presidente de Expoflores, dijo que el sector floricultor enfrenta retos como la informalidad, lo que afecta a la

creación de nuevas variedades de flores y pone en riesgo el control fitosanitario. El subrayó que la solución a estos problemas reside en la innovación tecnológica y la cooperación entre el sector privado y el Estado, para lo que propuso implementar un sistema digital unificado para simplificar trámites de exportación y mejorar la toma de decisiones. Además, presentó a Lili, una asistente virtual, desarrollada con inteligencia artificial. Este sistema se encarga de manejar 56 procesos automáticos de Expoflores, y añadió que se han desarrollaron seis robots digitales nuevos.



# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. Startup es el nombre en inglés que reciben las empresas jóvenes, que tienen poco tiempo en el mercado. Estos negocios tienen un fuerte componente tecnológico y grandes posibilidades de crecimiento partiendo de una idea innovadora.

2. Sánchez L.E. et al (2024). Agricultura de Precisión en el Ecuador. Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar. 8 (1): 1532 - 1542

3. Vásquez-Bermúdez M., et al (2026). Mobile Technologies in Agriculture: A Systematic Review with a Focus on Digital Tools for Banana Cultivation. CITI 2025, CCIS 2776, pp. 51–63. https://doi.org/10.1007/978-3-032-11494-5_4

4. Diario Correo (2026). Agrocalidad activa controles ante riesgo de propagación de Fusarium en El Oro. https://diariocorreo.com.ec/127869/ciudad/agrocalidad-activa-controles-ante-riesgo-de-propagacion-de-fusarium-en-el-oro

5. Agrocalidad (2024). Se intensifica la vigilancia para la detección de brotes de moko en musáceas. https://www.agrocalidad.gob.ec/moko/

6. Cámara Marítima del Ecuador (2023). Llega a Ecuador inteligencia artificial para detección de la Sigatoka Negra. https://www.camae.org/sigatoka-negra/llega-a-ecuador-inteligencia-artificial-para-deteccion-de-la-sigatoka-negra/

7. Banana Export (2026). Agricultura inteligente: el presente y futuro del agro. https://bananaexport.com/2025/03/10/la-tecnologia-como-clave-para-el-futuro-del-agro/

8. El Productor (2021). Ecuador: Nueva tecnología circular de pesaje en banano se lanza al mercado. https://elproductor.com/2021/08/ecuador-nueva-tecnologia-circular-de-pesaje-en-banano-se-lanza-al-mercado/

9. Prieto R. (2024). La agricultura digital como un proceso de innovación para la transformación productiva del sector florícola ecuatoriano. Trabajo de tesis previo a la obtención del grado de Magister en Gestión de la Ciencia y la Tecnología. Escuela Politécnica Nacional.

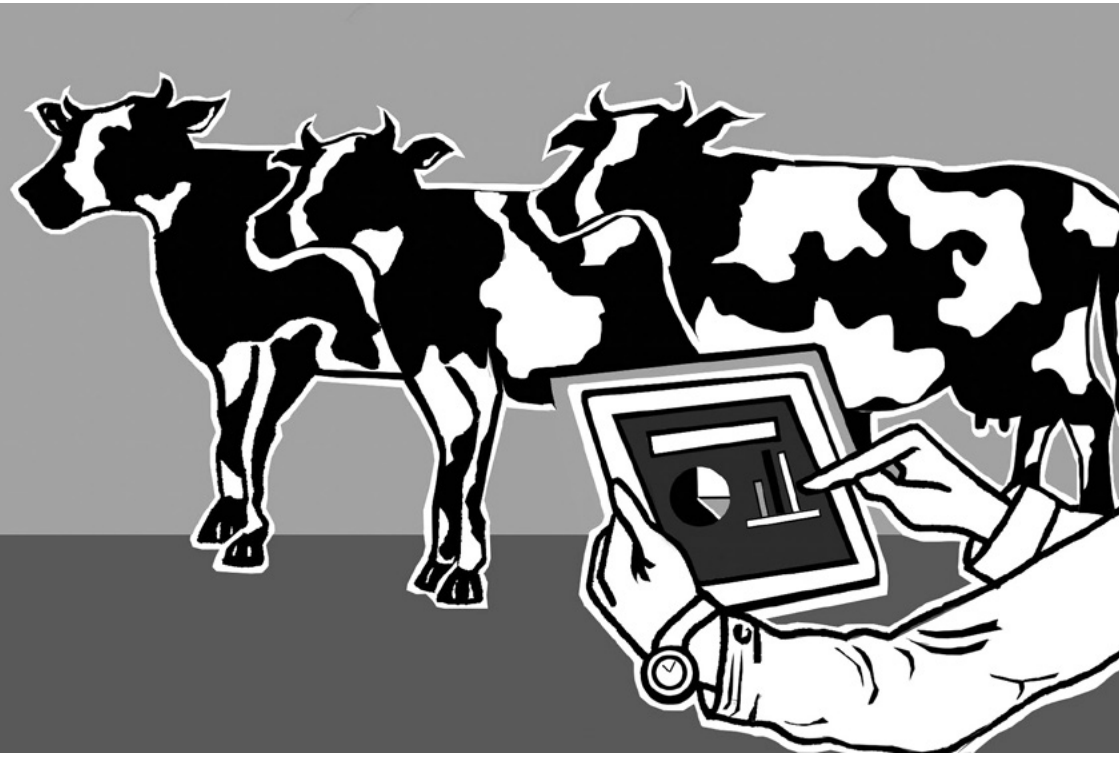
10. Escobar R., et al (2021). Análisis de suelos utilizando redes neuronales en las floríco-las de Rosas del Sector norte de la provincia de Cotopaxi. Mundo de la Investigación y el Conocimiento 5(2): 318-330

11. Es el gremio de exportadores de flores del Ecuador.

12. Recopilación y análisis de datos para tomar decisiones dentro de los sistemas productivos

13. El Comercio (2024). La inteligencia artificial estuvo presente en la inauguración de la ExpoFlor 2024. https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/la-inteligencia-artificial-estuvo-presente-en-la-inauguracion-de-la-expoflor-2024/

# 5. LA INDUSTRIA DE LA CARNE Y LA DIGITALIZACIÓN



## LA GANADERÍA DE PRECISIÓN

La ganadería de precisión es la utilización de herramientas únicas o múltiples en sistemas integrados para el manejo individual de animales, mediante el monitoreo continuo, dinámico, en tiempo real de la salud, bienestar, producción, reproducción e influencia del ambiente, para facilitar el cuidado y manejo de los bovinos[1].

En la ganadería de precisión se aplica tecnologías como sensores, IA, cámaras y caravanas electrónicas para monitorear y gestionar el ganado de forma individual y automática. Se coloca sensores tanto en los animales como en la granja para asesor y monitorea la salud del animal, la temperatura de la granja, el movimiento de los animales en el granero, cuando se debe dar un tipo de alimentación y en qué cantidades, cuando requieren vacunas, cuándo y cuánto se pueden ordeñar.

Su le promociona con el argumento de que reduce la necesidad de mano de obra (es decir, promueve el desempleo rural), la necesidad de optimizar el uso de insumos, reducir el uso de antibióticos, mejorar las condiciones de bienestar animal y minimizar la "huella de carbono" que proviene de los establos lecheros, esto a pesar del alto costo energético de la digitalización.

Algunas de las técnicas más usadas incluye la identificación electrónica con el empleo de microchips incrustado en un arete; pesaje automático a través de básculas especiales que identifican y registran el peso vivo del animal a medida que atraviesan una plataforma de pesaje, que se colocan en la entrada y/o salida del área de ordeño; registro del consumo de agua y alimento, realizado con sensores que registran los comportamientos de ingesta, recopilan los datos y proporcionan tendencias que pueden utilizarse para la toma de distintos tipos de decisiones; sistemas de monitoreo para detectar patrones de comportamiento, condiciones ambientales, estado reproductivo del animal, y detección de celo.

En los procesos de inseminación artificial, se hace pruebas de ADN o mapeo de genes, para incrementar la capacidad reproductiva del ganado o "equilibrar" las razas. Se han adoptado tecnologías emergentes como robótica, drones, inteligencia artificial y realidad aumentada. Se habla también de ganadería 4.0, porque se divide la ganadería en 4 etapas: uso de máquinas industriales (ganadería 1.0), la electricidad (ganadería 2.0), la computación y robótica

(ganadería 3.0). El concepto de Ganadería 4.0, o ganadería inteligente, se refiere a la digitalización de los procesos de producción, con el uso de drones, sensores y chips[2].

Las agencias intergubernamentales apoyan también la digitalización ganadera. La plataforma EMPRES-i, es un Sistema Mundial de Información sobre Enfermedades Animales, desarrollada por FAO proporciona información epidemiológica en tiempo real sobre la distribución de enfermedades animales y las amenazas actuales a nivel nacional, regional y mundial. Aporta información a los mecanismos oficiales de notificación de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)[3].

En Ecuador la FAO ha desarrollado un modelo de simulación de la actividad ganadera, Modelo Global de Evaluación Ambiental de la Ganadería (GLEAM), para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero en las diferentes etapas de producción de esta actividad.

El modelo utiliza datos de distribución ganadera, alimentación, datos climáticos, localización y manejo productivo para identificar la interacción entre la actividad ganadera y su impacto en el ambiente.

El modelo GLEAM se adaptó a la realidad del Ecuador, a través del Proyecto Ganadería Climáticamente Inteligente (PGCI), ejecutado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, el Ministerio del Ambiente, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), con financiamiento por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) en 2020[4].

Se está aplicando en 165 fincas piloto de Guayas, Manabí, Santa Elena, Loja, Imbabura, Napo y Morona Santiago. Levanta datos productivos y de manejo para los reportes de mitigación y adaptación que genera el proyecto. Permite estimar las emisiones directas de gases de efecto invernadero provenientes del ganado.

Adicionalmente, FAO estableció una alianza con la empresa privada El Ordeño en 2020, para un proyecto de ganadería climáticamente

inteligente con la participación de 50 familias ganaderas en el Cantón Cayambe, con rebaños de 1 a 22 vacas lactantes[5].

## AVICULTURA DIGITAL

Para la industria avícola, se ha desarrollado un sistema de monitoreo "inteligente" basado en sensores de inteligencia artificial (IA), que integra el internet de las cosas y la inteligencia artificial para realizar monitoreo en tiempo real de la salud de las aves[6]. Mediante el uso de sensores y modelos predictivos, se pueden detectar comportamientos anormales y prevenir la propagación de enfermedades en granjas avícolas, pues a menudo, la detección de enfermedades en las aves se puede hacer a partir de la observación de estos comportamientos.

El IdC se refiere a la red de sensores y dispositivos conectados que recopilan datos en tiempo real, mientras que la IA utiliza algoritmos avanzados para analizar esta información y detectar patrones. En el contexto avícola, el internet de las cosas y la inteligencia artificial actúan como "ojos y oídos" en los galpones, monitoreando continuamente el comportamiento de las aves, las condiciones ambientales (temperatura, humedad, niveles de amoníaco) y parámetros operativos como el consumo de agua y alimento.

Por ejemplo, sensores IdC pueden identificar cambios sutiles en el movimiento o la vocalización de las aves, señales tempranas de estrés o enfermedad. La IA, al procesar estos datos y permite predecir brotes de enfermedades antes de que se propaguen, facilitando intervenciones rápidas que reducen pérdidas económicas para las empresas.

De acuerdo a la Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador CONAVE, la adopción de estas tecnologías puede posicionar a los avicultores ecuatorianos como líderes en innovación, permitiéndonos competir en un mercado donde la trazabilidad y la calidad son clave[7].

CONAVE añade que en el Ecuador se puede adaptar las aplicaciones digitales a las particulares del país. Por ejemplo, algunos dispositivos del internet de las cosas, permiten automatizar la alimentación, la limpieza de estiércol y el control de agua, reduciendo la carga laboral (es decir, reducir el número de trabajadores) y mejorando la bioseguridad. Además, las aplicaciones móviles asociadas facilitan la gestión remota y reducen los costos operacionales.

Lo que está en el horizonte para el sector avícola es una combinación de automatización, biotecnología e inteligencia artificial. En el campo de la biotecnología se está usando biomasa microbiana modificada genéticamente, productos de fermentación de precisión, harinas derivadas de insectos, microalgas y subproductos agroindustriales mejorados, con énfasis en su composición nutricional, equilibrio de aminoácidos, digestibilidad y propiedades bioactivas funcionales.

En la "fermentación de precisión" se combina con la biología sintética, para producir microorganismos genéticamente modificados que participan en el proceso de fermentación.

A través de la ingeniería genética, se hacen modificaciones en los genomas microbianos, o la incorporación de genes (transgénesis) que codifican enzimas digestivas, pueden mejorar la disponibilidad de aminoácidos, reducir los factores antinutricionales y adaptar la solubilidad de las proteínas a especies animales específicas.

Se realizan modelados computacionales, diseños de proteínas heterólogas y micronutrientes fortificados. El resultado es la producción de "proteínas de diseño" con bioactividad mejorada, perfiles nutricionales optimizados, reducción de residuos y consumo de energía. También se introducen enzimas digestivas "optimizadas", a través de ingeniería genética y metabólica[8].

Se usan también proteínas derivadas de algas, que incluyen tanto microalgas como macroalgas. En ellas se realizan intervenciones biotecnológicas, como la selección de cepas, la suplementación de

nutrientes y la ruptura de la pared celular, mejoran el rendimiento y la digestibilidad de las proteínas.

> Recordemos que en el Ecuador están prohibidos los cultivos transgénicos y los organismos genéticamente modificados prejudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas.
>
> *Arts. 15 y 401 de la Constitución de la República del Ecuador*

Con los modelos de redes neuronales se puede predecir la cinética del crecimiento microbiano bajo diferentes fuentes de carbono, lo que permite aprovechar más los residuos agroindustriales, incluidos los granos secos de destilería, la torta de palmiste, la pulpa de yuca y los residuos de frutas [9] De manera similar, con la IA se ha mejorado la selección de cepas mediante el análisis de conjuntos de datos genómicos, transcriptómicos y metabolómicos para identificar cepas microbianas con perfiles de aminoácidos deseables, mayor digestibilidad y metabolitos antinutricionales reducidos[10].

También se usa la proteína de insectos. Las larvas de algunas especies de insectos transforman eficientemente los residuos orgánicos en biomasa rica en proteínas y grasas, y moléculas funcionales, como péptidos antimicrobianos, quitina y ácidos grasos de cadena media[11]. En Ecuador la empresa Skretting está ya usando esta tecnología en sus piensos para acuacultura[12].

El sector de las proteínas de insectos ha adoptado herramientas digitales tanto para la automatización de la cría masiva, la optimización nutricional y el fenotipado de precisión que emplean visión artificial para rastrear el crecimiento larvario, la ingesta de alimento y las respuestas conductuales a diferentes sustratos en tiempo real[13].

## ACUACULTURA DIGITAL DE PRECISIÓN

Se define como "acuicultura de precisión" o Acuicultura 4.0, a un modelo productivo que utiliza el monitoreo continuo de variables ambientales y biológicas con el apoyo de tecnologías digitales para la toma de decisiones; maximizar la eficiencia, reducir pérdidas y mejorar el rendimiento. Combinación automatización, internet de las cosas e inteligencia artificial.

El sector camaronero utiliza la digitalización para reacomodarse a las nuevas demandas del mercado. La adopción de la digitalización de la acuacultura en Ecuador es vista por empresarios del sector como una necesidad ineludible. Como señala un asesor del sector "en un entorno donde la rentabilidad se mide por décimas y la eficiencia por segundos, el conocimiento se ha vuelto tan valioso como el agua misma"[14].

Pero, la acuacultura digital se vende con el argumentos de que permiten desarrollar métricas ambientales precisas —como huella hídrica, eficiencia energética y emisiones— que alimentan informes de sostenibilidad y fortalecen el alineamiento con los principios ESG[15] pues sensores inteligentes facilitan la generación automatizada de indicadores, abarcando variables ambientales (temperatura, pH, emisiones), sociales (bienestar animal) y de gobernanza (trazabilidad con *blockchain*), en respuesta a la creciente demanda de los mercados globales; o para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los ODS 2 (hambre cero), 12 (producción y consumo responsable) y 14 (vida submarina)[16]. Más adelante veremos si esto es verdad.

### Aplicaciones de la digitalización acuícola[17]

Las tecnologías de análisis de datos se usan a lo largo de toda la cadena de producción, desde el cultivo hasta la exportación.

Una herramienta para la toma de decisiones y aumentar la productividad, son los sistemas de monitoreo en tiempo real de piscinas

camaroneras. Con sensores para controlar la nutrición de los camarones en la piscina y la incorporación de alimentadores automáticos con sensores de oxígeno y temperatura; herramientas de pesaje, medición de talla, hidrófonos de datos acústicos, se puede contar información a nivel individual en la piscina camaronera.

También se utilizan sistemas de gestión de la producción para automatizar y optimizar los procesos, desde el monitoreo de la calidad del agua hasta la gestión de inventarios y la planificación de la producción.

Algunas herramientas utilizadas en la acuicultura digital incluyen: los sensores remotos de control ambiental para monitoreo de temperatura, oxígeno y pH; la alimentación automatizada con alimentadores interconectados; los sistemas de recirculación de agua, sistemas de desinfección y filtración. También se combina biotecnologías y genética y técnicas para detección de plagas y enfermedades. Los datos generados van a plataformas digitales que generan patrones, predicciones y recomendaciones a nivel de camaronera; y conectan a los diferentes actores del sector, desde los productores hasta los compradores y proveedores.

Un promotor de las aplicaciones de IA en la acuacultura dice:

> Un brote de enfermedad puede acabar con toda una cosecha. La sobrealimentación puede contaminar el agua y aumentar los costos. El monitoreo manual requiere mucho tiempo y, a menudo, es impreciso. Aquí es donde entran en juego la IA y el aprendizaje automático. Al recopilar datos en tiempo real y analizar tendencias, la IA ayuda a predecir enfermedades, optimizar la alimentación e incluso monitorear a los camarones sin perturbarlos[18].

El autor ofrece algunos ejemplos: con base a datos históricos y en vivo, se puede detectar posibles amenazas antes de que se conviertan en un problema, como predecir brotes de enfermedades como

Piscinas de acuacultura inteligente.

el virus del síndrome de la mancha blanca o el síndrome de mortalidad temprana, antes de que aparezcan los síntomas.

El alimento representa más del 50% de los costos del cultivo de camarones. Se están introduciendo alimentadores con IA, con la ayuda de cámaras y sensores submarinos, para evitar sobrealimentación y así ahorrar dinero, y la contaminación del estanque.

Otro ejemplo es la sustitución del uso de redes para medir el crecimiento de los camarones, por cámaras de alta resolución y software de IA para rastrear su tamaño, contar poblaciones y detectar comportamientos inusuales. Este tipo de monitoreo no intrusivo significa que los camarones no sufren estrés y que el acuicultor obtiene datos más precisos. También ahorra tiempo y reduce los costes laborales, es decir, hay pérdida de empleos.

En el campo de la comercialización, los supermercados internacionales están adoptando la tecnología de la IA para procesa datos sobre el comportamiento de los consumidores, para predecir la demanda, mejorar la personalización y optimizar sus ventas. Utilizan códigos QR para incluir información de distinto tipo sobre toda la cadena de valor[19].

## Riesgos y peligros de la acuacultura inteligente

Lo que se no dice es que muchos de los problemas que se quieren solucionar con el uso de estas nuevas herramientas, son el resultado de las propias tecnologías acuícolas, como la cría masiva de especies bioacuáticas en condiciones de confinamiento, lo que las hace sumamente susceptibles a enfermedades. La artificialización de la crianza demanda de grandes cantidades de piensos (que generalmente provienen de monocultivos que compiten con la producción soberana de alimentos).

Se usa el argumento de que la acuacultura digitalizada forma parte de las soluciones para el problema del hambre y la seguridad alimentaria, pero en el caso del Ecuador el camarón es para exportación, y aunque en el país lo que quedan son los rechazos de la industria, sus precios son inaccesible para quienes "padecen hambre".

Estas tecnologías son ambientalmente tan costosas, y lo que hacen es ahorrar dinero a los empresarios camaroneros.

También se destruyen fuentes de trabajo. Vamos lo que dice una pequeña empresa de acuicultura digital que trabaja con automatización en la alimentación del camarón:

> Los alimentadores pueden trabajar con el mismo grado de precisión las 24 horas, siendo necesario sólo un operario para su supervisión[20].

Nada tiene que ver, en realidad, con sustentabilidad ambiental y social.

Entre los problemas de estas nuevas tecnologías, se señala que la adopción de herramientas digitales en la acuicultura implica elevados costos iniciales de sensores y equipos automatizados. Hay una limitada conectividad en zonas rurales y una necesidad de formación técnica especializada. En la parte operativa se destaca la acumulación de biofilm en sensores sumergidos, que compromete la precisión de las mediciones[21].

Aunque se presentan estas tecnologías como amigables con el ambiente, toda la infraestructura física y digital requiere un alto consumo de energía en un país que ha vivido hasta 16 horas de racionamiento eléctrico. Bombas, sensores, aireadores y otros equipos "inteligentes", funcionan con electricidad[22]. Además, se necesitan contar con una muy buena conectividad.

Las tendencias tecnológicas indican que la digitalización acuícola se intensificará, destacándose el uso de *blockchain* para trazabilidad, drones y robots submarinos para inspección y limpieza automatizada, algoritmos de machine learning para predicción de cosechas, diagnóstico precoz de enfermedades y control de comportamiento, así como la expansión de redes LoRa[23] y del 5G rural.

## ¿Quién impulsa la digitalización acuícola en Ecuador?

La acuacultura inteligente está impulsada por empresas tecnológicas y por las grandes camaroneras contratan sus servicios digitales para los distintos aspectos de sus operaciones.

Hay varias pequeñas empresas que trabajan en la alimentación en las piscinas; para dosificar la alimentación del pienso. Algunas se especializan en la visión artificial para analizar biometría (peso, longitud, color) de larvas y camarones, análisis de muestras de larvas, juveniles y adultos de camarón[24]; y otras que trabajan en alimentadores centralizados para larvicultura[25].

También están involucradas empresas que directamente están en el negocio de los piensos. La más grande empresa proveedora de piensos para acuacultura en el país, Skretting/ BioMar, adquirió a AQ1 Systems, líder mundial en fabricación de tecnología acústica para alimentación en cultivo de camarones[26]. AQ1 Systems es un sistema de control de alimentación basado en sensores del mundo para camaronicultora, mediante su algoritmo de Alimentación Adaptativa[27].

En algunos casos también participan los grandes conglomerados del *big data* como la colaboración entre la división de IdC de Microsof y la empresa Marfrisco (del grupo Nueva Pescanova de origen español) quienes implementaron la primera camaronera inteligente del mundo [28] en la costa de Ecuador[29]. Esta iniciativa fue seguida por 14 camaroneras más, lo que supone la digitalización de más de 6.500 hectáreas de cultivos de camarón.

Microsoft justifica la aplicación de esta tecnología, por el trabajo que hacían los empleados de Marfrisco.

> los trabajadores de Marfrisco recorrían en barca, y de forma recurrente a lo largo del día, los diferentes estanques del cultivo para alimentar a los langostinos de forma manual. La tarea, físicamente muy exigente, necesitaba ser transformada de manera digital para mejorar tanto las condiciones del cultivo como de los empleados[30].

¿Implicó este cambio tecnológico disminución de trabajadores?

Por otro lado, Movistar (Telefónica) en alianza con Huawei, presentaron su aplicación de conectividad *Smart Connected*[31], para el sector acuícola ecuatoriano: Ofrecen "soluciones" de "Smart Connected" para la conectividad en fincas acuícolas. El proyecto fue implementado en una camaronera en Balao – Guayas en una zona donde la conectividad tradicional es limitada. La aplicación se usa también para la alimentación automatizada, monitoreo en tiempo real de alimentadores, hidrófonos y sensores.

## LA "PESCA INTELIGENTE" DEL ATÚN

Como muchas otras nuevas tecnologías, la digitalización en la industria pesquera se justifica con el argumento de que se necesita alimentación para la creciente población mundial, a lo que se suma la preocupación por el medio ambiente, el bienestar animal y las prácticas laborales poco éticas.

Por otro lado, la legislación mundial, regional y nacional están impulsando un cambio hacia prácticas responsables y sostenibles en toda la cadena de valor.

Se argumenta además, que los productos del mar sostenibles son vitales para la seguridad alimentaria. La organización mundial de investigación *WorldFish* ha destacado los beneficios de los sistemas alimentarios oceánicos sostenibles para proporcionar medios de vida y nutrición, y que pueden lograr emisiones negativas para 2050.

Con esto en mente, se proponen "soluciones" basadas en la digitalización como instrumentos para alcanzar estos fines[32].

## La inteligencia artificial y la sobrepesca de atún

A mediados de la década de 1980, se empezó a experimentar en la pesca de atún -para maximizar la captura del pez- usando dispositivos flotantes, conocidos como "plantados" o DAP (Dispositivos Agregadores de Peces); que son objetos flotantes que se desplazan en mar abierto que atrae al atún mientras flota a la deriva en el océano, para que los buques atuneros los rastreen y pesquen debajo[33].

Estos dispositivos fueron evolucionando y equipándose electrónicamente para aumentar el número de objetos flotantes en el océano y facilitar su detección. Luego se introdujeron dispositivos para comunicación satelital.

Empresas especializadas dan servicios de los dispositivos DAP, la comunicación satelital entre la boya y los servidores (donde se almacena toda la información), un receptor satelital para los buques y un software específico para recibir toda la información a bordo. Este software se conecta a un receptor satelital, descarga la información del dispositivo y los representa en una carta digital.

La información recopilada por el dispositivo, es enviada a una constelación de satélites, que es transmitida a los servidores del proveedor

de satélite, o a los servidores de la empresa, donde se procesa y se envía a los clientes (buques y oficinas), quienes pueden visualizarlo mediante un software específico. De esta manera, los buques atuneros pueden gestionar cientos de DAP sin dificultad, rastreando sus plantados y con base a esta información, toman decisiones sobre dónde pescar. Hoy, un buque atunero puede tener unas 300 plantados simultáneamente, provocando una gran contaminación del mar.

Los dispositivos reciben información oceanográfica, como corrientes, viento, temperatura del agua, presencia de algas, anomalía de la altura de la superficie del mar, nubes, altura de las olas, entre otras. Así, cada barco tiene muchas opciones a la hora de elegir qué boyas visitar y la mejor ruta, para incrementar su extractivismo marino.

Los dispositivos de agregación de peces o plantados a la deriva están asociados con varios efectos negativos, porque impactan significativamente los ecosistemas marinos.

De acuerdo a un informe del *Pew Enviromental Group*[34], los dispositivos de agregados de peces, que son optimizados por la digitalización con los siguientes:

- la sobrepesca de reclutamiento del atún barrilete en el Océano Atlántico Oriental
- la sobrepesca de atún patudo en el Océano Pacífico Occidental y Central debido a la combinación de pesca con redes de cerco alrededor de plantados y pesca con palangre
- deterioro de la salud de los atunes capturados cerca de los plantados en comparación con los atunes capturados en cardúmenes libres
- aumento de la biomasa que se agrega debajo de los plantados, que con el tiempo significan, menor abundancia de cardúmenes libres, diferencias en las tallas y edades de los peces cuando se comparan con los atunes de cardúmenes libres

- alteraciones en los patrones de movimiento de los cardúmenes como resultado de cambios en el comportamiento de los atunes alrededor de los plantados en el Océano Pacífico.

Hay además altas tasas de pesca incidental, al modificar artificialmente el hábitat superficial. Estos dispositivos atraen a diversas especies, incluyendo atunes de importancia comercial, y otros peces que no tienen interés comercial, que empiezan a asociarse con los DAP recién instalados después de tan solo dos semanas, afectando a la fauna marina, incluyendo tiburones, tortugas marinas y atunes juveniles.

Las tasas de captura de tiburones son dos veces más altas con estos dispositivos que en la pesca sobre bancos de peces que nadan libremente. Los tiburones sedosos pueden representar el 95% de la captura incidental.

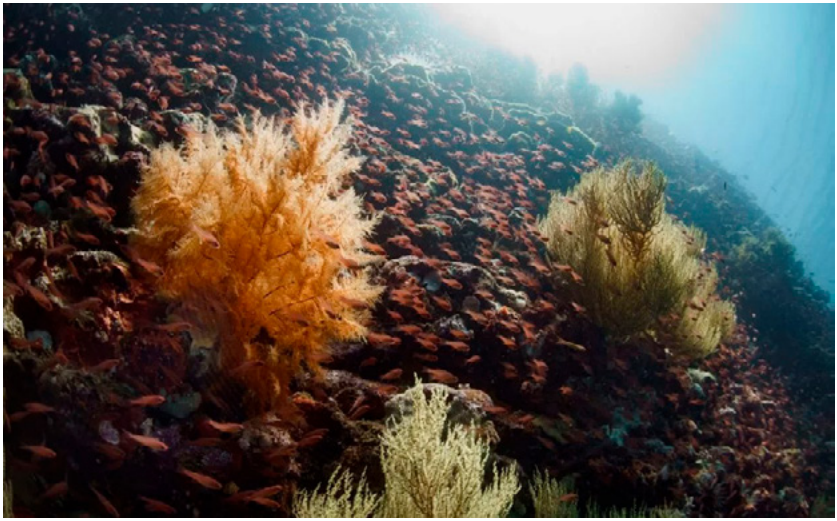
Como no es factible recuperar todos los dispositivos desplegados, algunos se pierden o se los abandonan. Aproximadamente el 10% varan en áreas costeras, donde pueden dañar hábitats costeros sensibles. Debido a que se componen principalmente de materiales no biodegradables, los DAP perdidos o abandonados constituyen una fuente continua de contaminación marina, y la fauna marina sensible, como las tortugas marinas y los tiburones, puede quedar enredada en las redes subsuperficiales[35].

Los DAP desactivados, dejan de enviar datos al buque matriz, por lo que son imposible de rastrear, lo que no significa que no sea responsabilidad de sus propietarios.

En Reserva Marina de Galápagos de Ecuador hay cada cada vez más dispositivos de flotación abandonados, que llegan de la flota atunera ecuatoriana y desde flotas internacionales[36].

Los DAP abandonados plantean numerosos problemas:

- desprendimiento de plástico al descomponerse



Reserva Marina de Galápagos. Foto: Joshua Vela

- daño en los arrecifes de coral
- colisionaron con embarcaciones de pesca artesanal
- se encuentran con frecuencia tiburones, tortugas, leones marinos, aves marinas y otros animales silvestres enredados en las redes, y en el peor de los casos, muertos.

Hasta julio 2025, el Parque Nacional habían reportado 277 plantados abandonados en la Reserva Marina de Galápagos desde 2017, la mayoría durante proyectos de limpieza costera. Pero el número real de plantados que pasan por la reserva es mucho mayor. No existe un único sistema de recopilación de datos sobre avistamientos de estos plantados en Ecuador ni en las Islas Galápagos, lo que dificulta su seguimiento fiable[37].

Quienes defienden el uso de los DAP en la pesca de atún sostienen que los buques atuneros pueden minimizar el consumo de combustible y las emisiones de $CO_2$ a la atmósfera, si el sistema

se optimiza porque los buques se transportan más eficientemente hacia los cardúmenes.

Ahora se propone mejorar más aún la eficiencia de esto sistema, con el uso de predicciones hechas con inteligencia artificial[38].

## OTRAS APLICACIONES DE LA DIGITALIZACIÓN EN LA PESCA DE ATÚN

Hay otras herramientas de digitalización que están diseñadas para asistir a la empresa atunera en la toma de decisiones con información en tiempo real sobre las poblaciones de peces, las condiciones ambientales y el rendimiento de los aparejos mediante sensores, análisis de datos y conectividad.

Estas tecnologías incluyen IA, datos satelitales, monitoreo ambiental en tiempo real y tecnología *blockchain*, que actúan a nivel del mar / buque y a lo largo de la cadena de suministro.

Predicen de zonas de pesca basada en IA para identificar la ubicación probable de los bancos de atún, incluyendo estimaciones de tamaño y especie.

Optimizan rutas en tiempo real: combina datos de los dispositivos DAP, océanos y embarcaciones para reducir el consumo de combustible y el tiempo de viaje.

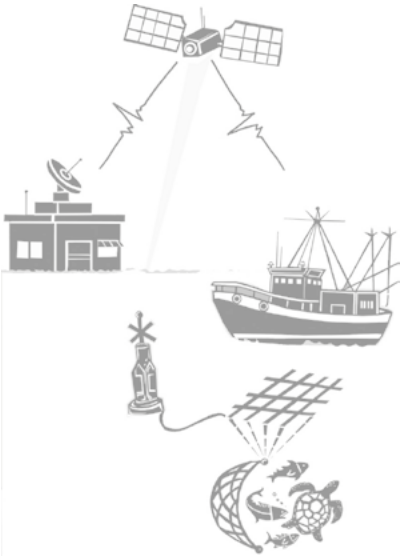
Facilitan la trazabilidad digital: utiliza *blockchain* para rastrear cada captura desde el mar hasta el lugar de comercialización[39]. Es decir, con las herramientas digitales, se incrementa la captura de atunes y las ganancias de las empresas.

La digitalización también se aplica a la comercialización al consumidor final. De acuerdo a un estudio del *Norwegian Seafood Council*[40] el 71% de los consumidores de productos del mar afirman que el etiquetado de origen influye en su compra, y proponen que tecnologías digitales pueden ayudar en esta tarea.

Algunas herramientas incluyen drones anfibios en conjunto con IA que recaban información sobre la cosecha de productos del mar; robots, drones, IdC con aprendizaje automático, para mejoran la eficiencia de las operaciones y la toma de decisiones en la acuicultura; plataformas comerciales que minimizan el desperdicio y los costos de transacción mediante la simplificación de la compra y la venta; minoristas que incorporan códigos QR, compradores robot y pagos móviles.

En las pesquerías de conchas bentónicas, erizos y pepinos de mar, se usan drones anfibios, que flotan sobre el fondo marino y así para elevar eficientemente la "incertidumbres en la recolección", pues permite saber exactamente qué se recolecta y dónde; en una palabra, aumentar el extractivismo de estos organismos marinos.

Los proponentes de la pesca inteligente sostienen que "para el sector pesquero, adoptar la innovación digital ya no es solo una opción; será esencial para la sostenibilidad"[41]



# NOTAS DEL CAPÍTULO


1. Club Ganadero (2023). Ganadería de precisión. Qué es y porqué es necesaria. https://www.clubganadero.com/ganaderia-de-precision/

2. CIL (2023). Ganadería 4.0: tendencia revolucionaria para el sector lácteo. https://www.cil-ecuador.org/post/ganader%C3%ADa-4-0-tendencia-revolucionaria-para-el-sector-l%C3%A1cteo

3. WFO (2018). Smart Livestock Future trends in the use of innovation technologies for animal health management and monitoring. Magazine f@rmletter No. 69.

4. El Productor (2020). Ecuador: Innovación tecnológica para una ganadería sostenible. https://elproductor.com/2020/02/ecuador-innovacion-tecnologica-para-una-ganaderia-sostenible/

5. FAO (2019). Una colaboración estratégica entre la empresa privada y la FAO. Ganadería climáticamente inteligente en Ecuador.

6. Della Mura M.T. (2024). IoT and Artificial Intelligence to enhance poultry farming. Tech-4Future. https://tech4future.info/en/iot-ai-poultry-farming/

7. CONAVE. El futuro de la Avicultura en Ecuador. https://conave.org/el-futuro-de-la-avicultura-en-ecuador/

8. Keohavong B. (2026). Digital innovation integration into biotechnology for development of sustainable protein frontiers for poultry nutrition in a circular bioeconomy. Poultry Science 105 (2): 106276

9. B. Bajić, D. et al (2022). Biotechnological production of sustainable microbial proteins from agro-industrial residues and by-products Foods12: 107, 10.3390/foods12010107

10. W. Zhang, et al (2010). Integrating multiple 'omics' analysis for microbial biology: application and methodologies Microbiology (N. Y), 156: 287-301, 10.1099/mic.0.034793-0

11. Keohavong B. (2026). Digital innovation integration into biotechnology for development of sustainable protein frontiers for poultry nutrition in a circular bioeconomy. Poultry Science 105 (2): 106276

12. https://www.skretting.com/es-ec/noticias-e-historias/klaas-puul-y-skretting-se-asocian-para-suministrar-camarones-sostenibles-a-los-supermercados-europeos/

13. C.I. Rumbos, C.G. Athanassiou (2021). Insects as food and feed: if you can't beat them, eat them!-to the Magnificent seven and beyond J. Insect Sci., 21 (2): 9, 10.1093/jisesa/ieab019

14. Franco I. (2025). Acuicultura inteligente: el salto a las soluciones digitales en Latinoamérica. Aquaculture.


15. Los indicadores ESG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza) son métricas cuantitativas y cualitativas que evalúan el desempeño sostenible, ético y de riesgo no financiero de una empresa

16. dos Santos L.D. (s/f). Revolución acuícola: inteligencia artificial. Aquaculture. https://allaquaculture.com/entrada/revolucion-acuicola-inteligencia-digital-55808

17. Bustamante A. (2023). La acuicultura ecuatoriana y la transformación digital. Boost. https://www.boost.ec/la-acuicultura-ecuatoriana-y-transformacion-digital/

18. Fish Farming (2025). El Futuro del Cultivo de Camarón: IA y Aprendizaje Automático en la Acuicultura. Worldwide Aquaculture. https://worldwideaquaculture.com/the-future-of-shrimp-farming-ai-and-machine-learning-in-aquaculture/

19. Holland J. (2024). Norwegian Seafood Council: Seafood industry at a digital Rubicon. SeaFoodSources

20. https://www.fishfarmfeeder.com/es/

21. Dos Santos L.D. (s/f). Obra citada

22. Como soluciones se propone paneles solares flotantes, baterías de larga duración y computación en el borde (edge computing) que permiten procesar datos localmente, incluso sin conexión a la nube.

23. Tecnologías inalámbricas de bajo consumo y gran alcance.

24. Es el caso de LarvIA S.A

25. https://apracom-ec.com/

26. Biomar (2022). BioMar adquiere empresa AQ1 systems. https://www.biomar.com/es-ec/actualidad/centro-de-actualidades/biomar-adquiere-empresa-aq1-systems

27. https://aq1systems.com/

28. https://panoramaacuicola.com/2022/06/30/la-granja-ecuatoriana-marfrisco-la-primera-en-implementar-la-smart-farm-creada-por-nueva-pescanova-junto-a-microsoft/

29. Panorama Acuícola (2022). La granja ecuatoriana Marfrisco, la primera en implementar la Smart Farm creada por Nueva Pescanova junto a Microsoft. https://panoramaacuicola.com/2022/06/30/la-granja-ecuatoriana-marfrisco-la-primera-en-implementar-la-smart-farm-creada-por-nueva-pescanova-junto-a-microsoft/

30. Panorama Acuícola, obra citada.

31. Martínez A. (2025). Movistar Empresas en colaboración con Huawei lanzan Smart Connected. Metro. https://www.metroecuador.com.ec/empresarial/2025/10/24/movistar-empresas-en-colaboracion-con-huawei-lanzan-smart-connected/

32. NSC (2024). How demand for transparency is accelerating digital transformation in the seafood industry. https://en.seafood.no/news-and-media/news-archive/how-demand-for-transparency-is-accelerating-digital-transformation-in-the-seafood-industry/

33. Groba C. (2022) AI for the Tuna Fishing Industry Applications. En: D. Carou, A. Sartal·y J. P. Davim. Management and Industrial Engineering. Switzerland: Springer Nature

34. Morgan A. (2011). Dispositivos agregadores de peces (plantados) y atún Impactos y opciones de ordenación. The Pew Environment Group. Serie Ocean Science.

35. Curnick, D. et al. (2021). Risks to large marine protected areas posed by drifting fish aggregation devices. Conserv. Biol. 8;35(4):1222–1232. doi:10.1111/cobi.13684

36. Starling, M. (2026). Abandoned tuna-fishing devices pollute the Galápagos Marine Reserve. https://news.mongabay.com/2026/02/abandoned-tuna-fishing-devices-pollute-the-galapagos-marine-reserve/

37. Starling (2026), obra citada.

38. Landge, A.T., et al. (2025). IoT and AI Applications in Fishing: Smart Fishing for Sustainable Practices. In: Ganie, P.A., Posti, R., Pandey, P.K. (eds) Information Technology in Fisheries and Aquaculture. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8553-7_4

39. Singh, A., Dasmandal, T., Chandran, R., Kantharajan, G., Sarkar, U.K. (2024). Artificial Intelligence-Based Modeling for Sustainable Management of Fish Genetic Resources: Status and Opportunities. In: Sarkar, U.K., Kumar, T.T.A., Sood, N., Singh, R.K., Kumar, R., Tyagi, L.K. (eds) Sustainable Management of Fish Genetic Resources. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5250-8_14

40. NSC (2024). How demand for transparency is accelerating digital transformation in the seafood industry. https://en.seafood.no/news-and-media/news-archive/how-demand-for-transparency-is-accelerating-digital-transformation-in-the-seafood-industry/

41. NSC (2024) obra citada.

# 6. DIGITALIZACIÓN DE PUERTOS Y BUQUES

La digitalización en los puertos, facilitan y aceleran el movimiento del comercio mundial de *commodities*, por eso se habla de mejorar la eficiencia en los procesos, disminuir los tiempos y costos de espera, mitigar problemas como la congestión portuaria y la burocracia excesiva; en las distintas etapas del metabolismo social que tiene lugar en los puertos.

La incorporación de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), el Internet de las Cosas, la inteligencia artificial y sistemas de gestión energética ha permitido a los puertos mejorar su eficiencia operativa, reducir los tiempos de espera y minimizar los errores humanos. Además, la integración de fuentes de energía renovable, micro-redes y sistemas de almacenamiento de energía contribuye a la sostenibilidad y a la disminución de emisiones contaminantes, alineándose con los objetivos ambientales globales.

Una de las principales tendencias es el uso de macrodatos e inteligencia artificial para mejorar la analítica de datos y la gestión de

riesgos. La creación de bases de datos unificadas y plataformas de análisis de datos, como *"cloud engine"*, permite a los funcionarios aduaneros acceder a información en tiempo real y automatizar el proceso de análisis de riesgos.

Otra tecnología es la cadena de bloques para facilitar los procesos aduaneros. Esto permite que todas las partes involucradas consulten la misma información en la gestión de la cadena de suministro, la que está siendo estudiada por la Organización Mundial de Aduanas (OMA) y la Organización Mundial del Comercio (OMC) para mejorar el cumplimiento, la facilitación del comercio y la detección del fraude.

En el sector marino portuario, la IA se ha aplicado en la automatización de tareas, como mejorar la gestión de buques, contenedores y operaciones logísticas; gestión de carga y contenedores, con predicciones de la demanda, optimizando el tiempo de permanencia de los contenedores y automatizar el inventario mediante visión artificial. Los algoritmos de la IA analizan fuentes de datos (sensores, rayos X) para detectar amenazas, analizar riesgos en cargamentos y mejorar la seguridad física, reduciendo falsas alarmas. El internet de las cosas, y los gemelos digitales (representaciones virtuales de la infraestructura) permiten el monitoreo y gestión en tiempo real de grúas, vehículos y tráfico.

Se aplica también para el monitoreo de las condiciones meteorológicas y del tráfico marítimo. La IA también se utiliza para prevenir y detectar posibles incidentes de seguridad, como el contrabando de mercancías o la presencia de sustancias peligrosas (o ilegales) en los contenedores[1].

Por otra parte, se dice que la aplicación de herramientas digitales reduce el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero en las operaciones portuarias y en las rutas. Pero en este análisis no se incluye todos los impactos ambientales propios de la digitalización, analizados antes.

En Ecuador, la adopción de estas tecnologías es incipiente, aunque se está aplicando transformaciones digitales en los puertos de Posorja, donde se ha implementado grúas pórtico eléctricas, escáneres de rayos X con inteligencia artificial para la inspección de carga[2]; y en menor grado en Puerto Bolívar[3], Manta[4]. La Oficina de Aduanas, ha desarrollado el sistema ECUAPASS[5] para reducir los tiempos de despacho y la integración con otras entidades gubernamentales.

La digitalización ha sido también adaptada por las grandes empresas de transporte de carga, que son un importante componente del movimiento global de *commodities*. Este es el caso de una de la más grande empresa naviera del mundo, Maersk que está desarrollando nuevas herramientas de inteligencia artificial para reducir costos, mejorar el cumplimiento de normativas aduaneras cambiantes[6].

En resumen, fuentes del sector marítimo sostienen que la digitalización optimiza el consumo de combustible y las rutas gracias al análisis de datos en tiempo real, reduciendo los costos operativos, y permite una mejor trazabilidad de los productos. En el ámbito de seguridad, herramientas como *blockchain* y sensores IdC están reforzando la ciberseguridad, el intercambio seguro de información y la vigilancia operativa.

A pesar de ello, en el mundo hay mucho tráfico ilegal de vida silvestre, personas, sustancias sujetas a fiscalización, etc. que la IA no ha sido capaz de frenar.

Finalmente, los agroexportadores utilizan herramientas de comunicación digital con buques de carga para conocer la fecha de embarque y llegada, y así planificar sus cultivos agrícolas. A través de plataformas de seguimiento pueden dar seguimiento a la carga agrícola, conectando navieras, puertos y exportadores agrícolas.

De esa manera, se acelera el movimiento de materiales y energía a nivel global, se hace más eficiente en comercio mundial de *commodities* agrícolas, aumentando la entropía del sistema agroalimentario global y se acentúa el control empresarial en la alimentación.

# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. Editorial Porthink (2024). Cómo la Inteligencia Artificial está Transformando los Puertos Latinoamericanos. https://porthink.com/como-la-inteligencia-artificial-esta-transformando-los-puertos-latinoamericanos

2. Rodríguez M.C. et al (2025). Eficiencia operativa de los terminales portuarios y su impacto en el comercio exterior: un análisis desde el caso ecuatoriano. South Florida Journal of Development. 8: 1-18

3. Rodríguez L. (2025). Analisis del impacto de la digitalización en la eficiencia de los procesos aduaneros en puertos. Universidad Técnica de Machala.

4. Quiroz A. (2024). Importancia de la inteligencia artificial en la seguridad de los puertos: caso puerto de Manta. Trabajo de titulación previo al título de Licenciado en Comercio Exterior. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

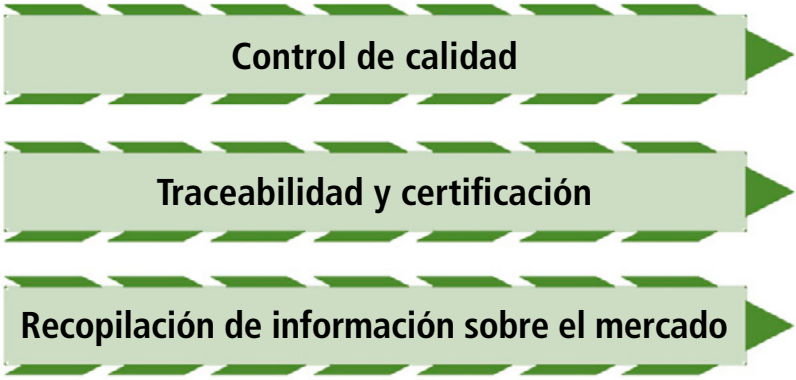
5. https://www.gob.ec/tramites/buscar?search_api_fulltext=ECUAPASS

6. Cámara Marítima del Ecuador (2025). Maersk lanza plataforma digital para enfrentar desafíos aduaneros globales.

# 7. LA DIGITALIZACIÓN EN LA TRANSFORMACIÓN AGROALIMENTARIA

La industria agroalimentaria ha empezado a usar aplicaciones digitales para el desarrollo de modelos y la simulación de problemas en el comportamiento de matrices alimentarias, pero siempre en un entorno de laboratorio y en condiciones muy controladas.

La mayoría de las tecnologías digitales que se usan en el sector agroalimentario pueden clasificarse en tres áreas principales[1]:




Lo primero es definir cómo se definen los atributos de calidad de un producto alimenticio. La industria agroalimentaria su calidad con base a las necesidades y predilecciones de los consumidores del Norte Global y claro, de sus propias ganancias.

Un producto es de calidad si reúne requisitos de calidad nutricional y salubridad, características organolépticas deseables, aspectos ambientales y otros, a lo que se suma la normativa y estándares nacionales e internacionales.

Los estándares internacionales alimentarios son establecidos en el Códex Alimentario, constituido por un conjunto de normas, directrices y códigos de prácticas alimentarias internacional, establecidos por la FAO y la OMS para el comercio internacional de alimentos.

Las normas del Códex Alimentario son desarrolladas en conjunto con las empresas privadas; con estándares destinados para la exportación, o para las grandes empresas agroalimentarias que producen a gran escala para abastecer a mercados internos.

Entre ellas se incluye el Análisis Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP por sus siglas en inglés) y las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM), el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC), que se han convertido en una referencia para el comercio internacional de alimentos, y son reconocidos por el Códex Alimentario. También ha adaptado modelos como las normas de la Organización Mundial de Normalización (ISO), una organización independiente y no gubernamental.

En este contexto, se han creado herramientas digitales para facilitar la aplicación de estas normas sanitarias, fitosanitarias y de buenas prácticas de manufactura, desarrolladas por la industria, en asociación con las Naciones Unidas e impuestas a los países, y no siempre precautelan la salud de los consumidores, ni consideran toda la cadena productiva, como el origen de la materia prima.

Un problema es que cada vez hay más intentos por imponer estas normas a la transformación artesana y la agricultura campesina; aunque los mayores riesgos (de contaminación microbiológica, por ejemplo), surgen en producciones a gran escala, tanto en la fase agrícola/ganadera, como en la transformación industrial[2].

Existen diversas aplicaciones de software para el control de calidad, algunas de ellas son específicas para el sector alimentario, mientras que otras son más comunes, pero se adaptan a las características

de diferentes tipos de producto. Estos softwares pueden simular procesos industriales, como reacciones químicas, de transferencia de masa como el secado de carne o de hidratación, o reacciones a distintas condiciones térmicas para eliminan patógenos; o para medir varios fenómenos físicos. Muchas empresas utilizan estas aplicaciones para supervisar determinados indicadores de calidad o para el control de la producción en tiempo real.

La digitalización en la transformación agroalimentaria enfrenta algunos desafíos. Por eso la simulación de procesos no ha evolucionado tan rápido como en otros sectores, y presenta numerosas deficiencias.

Un desafío para la industria de transformación agroalimentaria es que su competitividad se base en su constante innovación para abrir nuevos mercados, imponer nuevos gustos a los consumidores, tener una gama de productos diferentes para competir de manera más favorablemente en el mercado de la comida industrial.

Una de las razones es que cada empresa suele dedicar recursos a la investigación y desarrollo de nuevos productos, precisamente porque busca un producto único y diferenciado; los procesos son muy elaborados para obtener una respuesta específica en el producto, usando IA.

Para que funcionen las aplicaciones digitales, especialmente la IA se necesita contar con una gran cantidad de datos, y un software con capacidades analíticas especializadas y estar disponible para cualquier situación inesperada que surja.

La aplicación de herramientas digitales, especialmente de IA, exige que la producción industrializada de alimentos sea homogénea para poder aplicar en ellas parámetros uniformes.

Se debe homogenizar la producción de la materia prima (los cultivos). Los productores de la materia prima tienen que aplicar técnicas de producción que resulten en productos uniformes, del mismo

color, tamaño, que se puedan cultivar al mismo tiempo con mucho más rigor que antes. Esto es contrario a la lógica de la pequeña agricultura campesina, y mostrándose una vez más que la IA está diseñada para el agronegocio.

Esto lleva al extremo las exigencias de "calidad" propia de la agroindustria, para que funcione las aplicaciones de IA.

El problema es más complejo cuando se quiere trabajar a nivel microbiológico. Aunque existen plataformas de software de modelado para los productos que son más propensos al desarrollo microbiológico de patógenos o al deterioro, funcionan sólo en condiciones muy controladas, y no en un entorno dinámico como el alimenticio. Además, en la mayoría de los casos, el microorganismo a modelar, debe ser inoculado en la matriz alimentaria real, lo que no puede replicarse en un contexto de producción real, debido a los efectos que podría tener este microorganismo en la producción posterior.

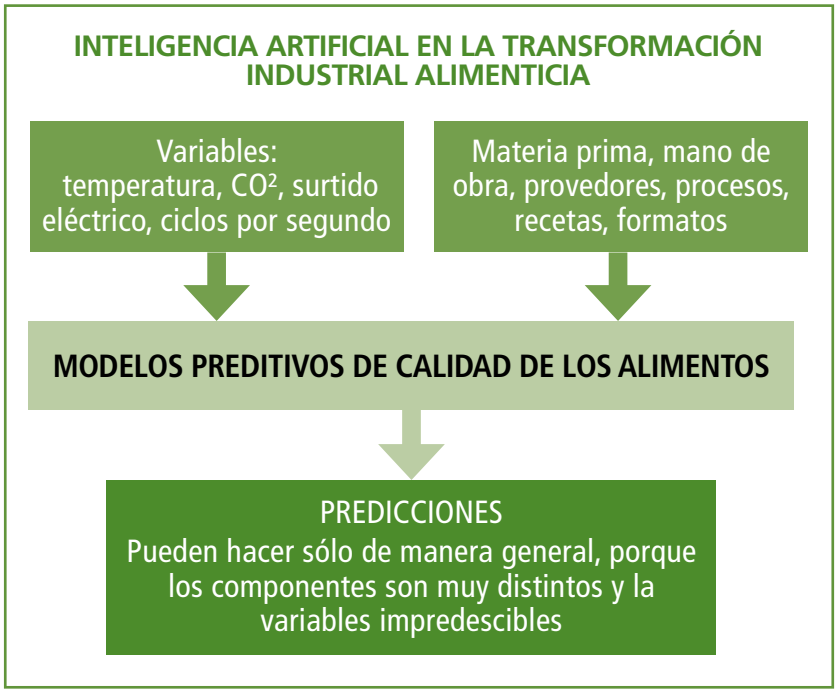
Se necesitan también modelos totalmente homogenizados tanto en el proceso de transformación de los alimentos, para que se pueda aplicar la IA, lo que va en contravía de lo que promueve cada empresa agroalimenticia: novedad, innovación, mostrando productos únicos y nuevos para el paladar de los consumidores.

Aunque se dice que con la digitalización habrá una reducción en el desperdicio, aunque para alcanzar la homogenización, se tendrá que descartar los productos que no alcancen los parámetros necesitados. Por otro lado, hay múltiples factores que pueden ser impredecibles en la etapa productivo como la presencia de plagas, enfermedades, desastres climáticos o simples variaciones meteorológicas, factores políticos como paros o huelgas. En la etapa de transporte pueden sumarse otros factores estresantes.

En el Ecuador se desarrolla el proyecto "Camino a la Reactivación del Ecuador Agroalimentario" (CREA), liderado por la Asociación

Nacional de Fabricantes de Alimentos y Bebidas (ANFAB), con el financiamiento de la Unión Europea y ejecutado por un consorcio conformado por Rikolto, Cospe, KU Leuven, ESPOL y ANFAB. Su misión "es mejorar la competitividad del sector agroalimentario ecuatoriano, generando espacios de conexión permanente a lo largo de toda la cadena, desde la semilla hasta el consumidor final"[3]; sobre todo, el consumidor internacional.

Uno de sus principales hitos es la creación de la Plataforma Digital Ecuador Agroalimentario, una herramienta para conectar a los siete ámbitos: comercial, logística, transformador, agro productivo, investigación, financieros e inclusión y sostenibilidad. A través de esta plataforma, productores, empresas, instituciones y emprendedores pueden encontrar nuevos clientes, acceder a capacitación continua y mantenerse actualizados sobre las tendencias del sector.



# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. Martínez-Simarro D., Lázaro-Ramos J.O. (2022). Applications and Business Impact of Artificial Intelligence in the Industrial Production of Food and Beverages. En: D. Carou, A. Sartal·y J. P. Davim. Management and Industrial Engineering.

2. Para más sobre este debate, ver Bravo E. (2016). La regulación empresarial en la producción de alimentos. Impactos en la vida campesina. Quito: Abya Yala.

3. ANFAB (2025). Plataforma Digital Ecuador Agroalimentario: una apuesta para el desarrollo del sector. https://anfab.com/plataforma-digital-ecuador-agroalimentario-una-apuesta-para-el-desarrollo-del-sector/

# 8. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y MANIPULACIÓN GENÉTICA DE SEMILLAS

Los genes de todos los organismos vivos están determinados por la secuencia de cuatro diferentes tipos de moléculas, llamados nucleótidos o bases orgánicas que en su conjunto forman una macromolécula de ADN. Al conjunto de genes de un ser vivo se le denomina genoma.

## UNA CORTA HISTORIA DE LA SECUENCIACIÓN DE GENES

En 2022 se conmemoró el 50 aniversario de la secuenciación del primer gen completo. En 1965, secuenció el primer ARN de transferencia. Posteriormente, en 1972, Walter Fiers secuenció por primera vez el ADN de un gen completo (el gen que codifica la proteína de la cubierta de un virus). A partir de ahí, se puede dividir la secuenciación del ADN en tres "generaciones":

La primera generación estuvo marcada por el método conocido como secuenciación de Sanger, introducido en 1997. La secuenciación Sanger fue utilizada durante más de 30 años.

Sin embargo, la secuenciación de Sanger carecía de automatización y era extremadamente lenta. Dado su potencial, se trabajó intensamente para automatizarla. En 1987, Leroy Hood y Michael Hunkapiller lograron automatizar el proceso, introduciendo dos innovaciones: el uso de marcadores colorantes fluorescentes en lugar de moléculas radiactivas y la adquisición y análisis de datos por computación.

En 1996 se inicia la segunda generación de la secuenciación, cuando Mostafa Ronaghi, Mathias Uhlen y Pál Nyŕen introdujeron la pirosecuenciación, porque medía la medición de la luminiscencia generada en la síntesis de pirofosfato durante la secuenciación. Luego se implementó en un sistema automatizado, el sistema 454, que fue la primera plataforma de secuenciación de nueva generación en llegar al mercado. Luego se desarrollaron otras plataformas: SOLiD de "secuenciación por ligación" de 2007 y el Ion Torrent de Life Technologies de 2011, que utiliza la tecnología de "secuenciación por

síntesis" que detecta iones de hidrógeno cuando se sintetiza ADN nuevo.

Los sistemas de Oxford Nanopore Technologies son sistemas portátiles para la secuenciación de ARN y ADN. Fueron presentados por primera vez en 2012 y utiliza los cambios en la conductividad eléctrica, cuando las hebras de ADN pasan a través de nanoporos biológicos para identificar la secuencia de nucleótidos.

La secuenciación de nueva generación (NGS) incluye diversas tecnologías que realizan la secuenciación y recopilan datos de múltiples reacciones que se ejecutan simultáneamente. También se conoce como secuenciación masiva en paralelo. Aunque existen numerosas plataformas de secuenciación de nueva generación (NGS), todas siguen tres pasos generales: preparación de la muestra/biblioteca, amplificación y secuenciación y generación y análisis de datos, a partir de una gran cantidad de datos brutos.

El primer genoma vegetal que fue totalmente secuenciado fue el modelo de laboratorio *Arabidopsis thaliana*, publicado en el año 2000. Se necesitaron 10 años más para alcanzar el hito de 20 genomas de plantas secuenciados, pero solo otros 4 años, para superar los 100 genomas. En 2020 se habían secuenciado 500 genomas de plantas. En los siguientes dos se secuenciaron 500 genomas de plantas adicionales. Para finales de 2024, se habían secuenciado más de 1800 especies de plantas.

Los avances en las tecnologías de secuenciación han ido de la mano del desarrollo de algoritmos bioinformáticos más potentes para el ensamblaje y la anotación de datos genómicos.

Fuentes: Schroeder K. (2022); Schwacke R. (2024)

La industria de la digitalización y la inteligencia artificial, ha transformado esta maravillosa forma de transmisión de la herencia, en lo que se ha dado por llamar "secuencias digitalizadas de genes". Empresas del área de salud, agricultura, así como centros de investigación del Norte Global, han secuenciado una enorme cantidad de genomas de organismos vivos.

Las bases individuales contenidas en los genes son consideradas como datos. A estos datos acumulados de secuenciación de genes y almacenados en *blockchain* se le aplica la inteligencia artificial para identificar asociaciones y hacer predicciones sobre el comportamiento de los genes.

Los cultivos alimentarios de importancia económica siempre han sido un objetivo principal de los esfuerzos de secuenciación, ya que esto proporciona información sobre los genes responsables de rasgos agronómicamente favorables y de interés para la industria. La base de datos FAOSTAT muestran que la gran mayoría de las especies de cultivos alimentarios de importancia comercial ya han sido secuenciadas[1].

La información sobre la secuencia del genoma vegetal facilita enormemente los estudios de biología vegetal, genómica funcional, evolución de genomas y genes, procesos de domesticación y relaciones filogenéticas entre especies y variedades.

La inteligencia artificial es una herramienta importante para los investigadores en biología molecular, pues les ayuda a identificar relaciones no lineales entre genes y la forma como la información codificada en los genes se expresa (lo que se llama fenotipo, como el color de un grano de maíz). Se aplica especialmente cuando se trata de caracteres en los que participan múltiples genes como el rendimiento de un cultivo.

La inteligencia artificial puede hacer predicciones también a nivel epigenético, pues través de estas herramientas, se puede predecir

procesos regulatorios de los genes (es decir, información que no está en los genes sino en cómo estos se están regulados). Por ejemplo, se puede aplicar para predecir la resistencia o susceptibilidad de una variedad de arroz a ciertas enfermedades y los elementos regulatorios que pueden encenderse o apagarse, de ser necesario.

La secuenciación de genes aplicada a la inteligencia artificial puede también facilita la manipulación genética, especialmente la edición génica.

La edición génica es un tipo de ingeniería genética que producen cambios específicos en el ADN de una célula u organismo en condiciones de laboratorio, a través del corte, silenciamiento o inserción de genes usando técnicas como el llamado CRISPR/Cas9[2]. La edición génica funciona con la información contenida en los genes.

Con la gran cantidad de datos almacenados en las bases de datos, se está aplicando la inteligencia artificial como una herramienta para la edición génica. Los algoritmos de IA pueden identificar relaciones no lineales entre genes (genotipo) y algunos rasgos (fenotipo) de interés para la industria[3] , y hacer predicciones sobre qué sucedería si se silencia o se inserta un nuevo gen, o cómo funcionaría un gen bajo determinadas condiciones ambientales[4].

La IA se aplica para identificar los genes adecuados para las estrategias de edición génica, especialmente para rasgos en los que participan múltiples genes como por ejemplo la tolerancia al estrés abiótico y los rendimientos que puede tener una nueva variedad de plantas. Los algoritmos están entrenados para alimentar datos en tiempo real; construyen modelos que parecen buscar patrones entre datos existentes y lo que se quiere predecir.

Se trabaja con lo que se llama genes influyentes, por ejemplo de resistencia, calidad o rendimiento de un cultivo. Se aplica también

la inteligencia artificial para analizar cambios en el tiempo, cambios dinámicos en expresión de genes o expresiones de genes bajo diferentes condiciones ambientales.

Entre más datos se acumulan, mejor será las predicciones, pero nunca serán perfectas. Y ahí el peligro del uso de la inteligencia artificial en la manipulación de la vida.

Uno de los cultivos con los que más se trabajen en edición génica es el arroz. Tiene 43 millones de bases orgánicas[5]. Se utiliza la inteligencia artificial para predecir la resistencia enfermedades del arroz, elementos regulatorios y muchos otros aspectos de interés para la edición génica.

Pero trae nuevos riesgos de incertidumbres, distorsiones o alucinacione; un efecto llamado *blackbox*; es decir, no se sabe por qué la IA elige ciertas probabilidades[6]. El uso de la IA para diseñar digitalmente sistemas genéticos, traslada el proceso de ingeniería genética a una "caja negra" algorítmica incognoscible en la que las decisiones individuales de diseño no pueden rastrearse ni explicarse.

Las herramientas de IA son tanto descriptivas como generativas: analizan datos biológicos y realizan predicciones, diseñan secuencias funcionales de ADN, ARN y proteínas, incluidas secuencias «nuevas para la naturaleza».

Este carácter opaco de "caja negra" del biodiseño de la IA, es inherente a la IA generativa. En el contexto de la biotecnología, desafía las capacidades actuales de evaluación de la bioseguridad, y socava los requisitos de supervisión de las nuevas tecnologías.

## LOS DEBATES SOBRE LAS SECUENCIAS DIGITALIZADAS DE GENES

Uno de los temas que más se discuten en las negociaciones internacionales[7] sobre biodiversidad y recursos genéticos, es el acceso a las secuencias digitalizadas de genes (DSI por sus siglas en inglés) y

la repartición justa y equitativa de los beneficios que surjan de las aplicaciones de esta información.

Entre más datos genéticos se acumulen en las bases de datos, mejores serán las predicciones; aunque nunca serán totalmente certeras, como sucede con otras aplicaciones de la inteligencia artificial, solo que aquí estamos hablando de la manipulación o creación de nuevos seres vivos, que pueden entrar al medio ambiente, reproducirse, mutar y generar impactos totalmente impredecibles.

Mucho tiempo y energía han invertido algunos países ricos en biodiversidad, así como organizaciones que siguen estas negociaciones internacionales (incluyendo organizaciones indígenas y campesinas). Fue muy simbólico que en la ciudad de Cali – Colombia (uno de los países más ricos en biodiversidad del mundo), se adoptaran las modalidades para la puesta en funcionamiento de un mecanismo multilateral para la participación justa y equitativa en los beneficios derivados del uso de las DSI, incluyendo un fondo global; el "Fondo de Cali para la Participación Justa y Equitativa en los Beneficios del Uso de la Información Digital sobre Secuencias de Recursos Genéticos"[8].

Se decidió además que se seguirá explorando posibles nuevas herramientas y modelos de implementación de estas decisiones, como bases de datos para que la información digital sobre secuencias de recursos genéticos esté disponible y accesible públicamente.

Accesible ¿para qué? Entre otras cosas, para producir nuevas formas de vida y más organismos genéticamente modificados.

# NOTAS DEL CAPÍTULO

1. https://www.fao.org/faostat

2. Más información sobre esta tecnología de manipulación genética se la puede encontrar en Bravo E (2025). Cortando y pegando genes para manipular la vida. la edición génica sus peligros y normativa en América Latina. Quito: Acción Ecológica.

3. La resistencia a determinados químicos como los herbicidas es la característica más explotada por la industria.

4. Xiaoyan Chen, et al (2025). The application of artificial intelligence and gene editing technologies in high-yield crop breeding: Innovations and prospects for future agricultura. Advances in Resources Research. Vol. 5 (1): 146-166. https://doi.org/10.50908/arr.5.1_146

5. Un número relativamente bajo, si se le compara con el genoma del trigo, que tiene 17 mil millones de bases.

6. Achterberg F. (2025). When chatbots breed new plant varieties. Ponencia presentada en el taller el 2 de junio 2025 por TestBiotech.

7. Por ejemplo, el Convenio sobre Diversidad Biológica y el Tratado de Recursos Fitogenéticos de la FAO.

8. Decisión 16/2 de la 16 Conferencia de las Partes del Convenio sobre Diversidad Biológica, que se realizó en Cali en 2024.

# 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


- **Achterberg F.** (2025). When chatbots breed new plant varieties. Ponencia presentada en el taller "AI and Genetic Engineering" el 2 de junio 2025 por TestBiotech.
- **Agencia Internacional de Energía.** "Data Centres and Data Transmission Networks" https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks#
- **Agrocalidad** (2024). Se intensifica la vigilancia para la detección de brotes de moko en musáceas. https://www.agrocalidad.gob.ec/moko/
- **Banana Export** (2026). Agricultura inteligente: el presente y futuro del agro. https://bananaexport.com/2025/03/10/la-tecnologia-como-clave-para-el-futuro-del-agro/
- **BASF** (2022) ¿Qué es la Agricultura 4.0? https://agriculture.basf.com/ec/es/contenidos-de-agricultura/digitalizacion-agricultura-4-0
- **Bejarano P.** (2017). En India han inventado un Uber para tractores. https://blogthinkbig.com/en-india-han-inventado-un-uber-para-tractores
- **Bajić, D. et al.** (2022). Biotechnological production of sustainable microbial proteins from agro-industrial residues and by-products Foods12: 107, 10.3390/foods12010107
- **BID** (2025). Ecuador fortalecerá sus servicios públicos agropecuarios con apoyo del BID. https://www.iadb.org/es/noticias/ecuador-fortalecera-sus-servicios-publicos-agropecuarios-con-apoyo-del-bid
- **BID Invest** (s/f). Cómo las nuevas tecnologías están transformando los agronegocios en Latinoamérica y el Caribe.
- **Birner R., Daum T. y Pray C.** (2021). Who drives the digital revolution in agroculture?n A review of supply-side trends, players and challenges. Apllied Economic Perspectives and Policy: 43: 1260 – 1285.

- **Bravo E.** (2016). La regulación empresarial en la producción de alimentos. Impactos en la vida campesina. Quito: Abya Yala.
- **Bravo E.** (2025). Cortando y pegando genes para manipular la vida. la edición génica sus peligros y normativa en América Latina. Quito: Acción Ecológica.
- **Bustamante A.** (2023). La acuicultura ecuatoriana y la transformación digital Boost.https://www.boost.ec/la-acuicultura-ecuatoriana-y-transformacion-digital/
- **Cámara Marítima del Ecuador** (2025). Maersk lanza plataforma digital para enfrentar desafíos aduaneros globales.
- **Castells, Manuel.** (2009). Comunicación y Poder. Alianza.
- **CEPAL** (2021). Tecnologías digitales para una revolución agrícola sostenible e inclusiva en los países en transición. https://www.cepal.org/es/proyectos/agro-40
- **CEPAL** (2023). La digitalización al servicio de la transición agroecológica. https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/23-00546-folleto-la_digitalizacion_web_0.pdf
- **Chowdhry K. y Dano N.** (2026). Digital infrastructure in AfricaDeconstructing the myth of dematerialisation and unveiling corporate power. African Centre for Biodiversity.
- **Club Ganadero** (2023). Ganadería de precisión. Qué es y porqué es necesaria. https://www.clubganadero.com/ganaderia-de-precision/
- **CONAVE** El futuro de la Avicultura en Ecuador. https://conave.org/el-futuro-de-la-avicultura-en-ecuador/
- **Curnick, D. et al.** (2021). Risks to large marine protected areas posed by drifting fish aggregation devices. Conserv. Biol. 8;35(4):1222–1232. doi:10.1111/cobi.13684
- **Daum, T., and Regina B.** (2020) "Agricultural Mechanization in Africa: Myths, Realities and an Emerging Research Agenda." Global Food Security 26: 100393.

- **Della Mura M.T.** (2024). IoT and Artificial Intelligence to enhance poultry farming. Tech4Future. https://tech4future.info/en/iot-ai-poultry-farming/
- **Dos Santos L.D.** (s/f). Revolución acuícola: inteligencia artificial. Aquaculture.https://allaquaculture.com/entrada/revolucion-acuicola-inteligencia-digital-55808
- **El Comercio** (2024). La inteligencia artificial estuvo presente en la inauguración de la ExpoFlor 2024. https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/la-inteligencia-artificial-estuvo-presente-en-la-inauguracion-de-la-expoflor-2024/
- **El Productor** (2021). Ecuador: Nueva tecnología circular de pesaje en banano se lanza al mercado. https://elproductor.com/2021/08/ecuador-nueva-tecnologia-circular-de-pesaje-en-banano-se-lanza-al-mercado/
- **El Productor** (2020). Ecuador: Innovación tecnológica para una ganadería sostenible. https://elproductor.com/2020/02/ecuador-innovacion-tecnologica-para-una-ganaderia-sostenible/
- **Editorial Porthink** (2024). Cómo la Inteligencia Artificial está Transformando los Puertos Latinoamericanos. https://porthink.com/como-la-inteligencia-artificial-esta-transformando-los-puertos-latinoamericanos
- **Escobar, R., Maliza, D. y Cadena, J.** (2021). Análisis de suelos utilizando redes neuronales en las florícolas de Rosas del Sector Norte de la Provincia de Cotopaxi. Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento 5(2): 318-330.
- **FAO** (2020). Realizing the potential of digitalization to improve the agri-food system proposing a new international digital council for food and agriculture. A concept note. Roma
- **FAO** (2019). Digital Agriculture transformation and digital innovation (2019). https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/146f43d1-7db5-4728-929c-e603d5533c45/content

- **FAO** (2019). Una colaboración estratégica entre la empresa privada y la FAO. Ganadería climáticamente inteligente en Ecuador.
- **Fish Farming** (2025). El Futuro del Cultivo de Camarón: IA y Aprendizaje Automático en la Acuicultura. Worldwide Aquaculture. https://worldwideaquaculture.com/the-future-of-shrimp-farming-ai-and-machine-learning-in-aquaculture/
- **Franco I.** (2025). Acuicultura inteligente: el salto a las soluciones digitales en Latinoamérica. Aquaculture.
- **Groba C.** (2022) AI for the Tuna Fishing Industry Applications. En: D. Carou, A. Sartal·y J. P. Davim. Management and Industrial Engineering. Switzerland: Springer Nature
- **Grupo ETC** (2022). Plataformas agrodigitales. Sometimiento tecnológico de la agricultura y la alimentación.
- **Grupo ETC** (2024). Detrás de las nubes. Impactos ambientales de la digitalización. Comunicado 119.
- **IBM Watson.** (s/f). From Seed to Server: The Evolution of Modern Agriculture.
- **IFAD** (2025). Strategic discussion with the President of IFAD – Advancing IFAD's digital agriculture vision for rural transformation (2025–2030). Executive Board 145th Session. Roma.
- **IFAD** (2026). Matching the Moment: The Role of the Private Sector in Delivering Rural Transformation
- **IICA** (2025). Estado de la digitalización del sector agropecuario en América Latina y el Caribe: perspectivas y propuestas para optimizar el Ecosistema Agtech. https://blog.iica.int/blog/estado-digitalizacion-del-sector-agropecuario-en-america-latina-caribe-perspectivas-propuestas
- **Il Chimico Scettico.** (2025). La inteligencia artificial, burbuja y desempleo. El Viejo Topo. https://www.elviejotopo.com/topoexpress/la-ia-y-el-desempleo/
- **Innerarity D.** (2025). Una teoría crítica de la inteligencia artificial. Editorial. Galaxia Gutenberg.

- **IPES Food** (2026). Head In The Cloud: Challenging the false promise of digital agriculture and cultivating innovation from the ground up.
- **Keohavong, B.** (2026). Digital innovation integration into biotechnology for development of sustainable protein frontiers for poultry nutrition in a circular bioeconomy. Poultry Science 105 (2): 106276
- **Landge, A.T., et al.** (2025). IoT and AI Applications in Fishing: Smart Fishing for Sustainable Practices. In: Ganie, P.A., Posti, R., Pandey, P.K. (eds) Information Technology in Fisheries and Aquaculture. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-8553-7_4
- **Lohman L.** (2020). Cadenas de bloques, automatización y trabajo. Mecanizando la confianza. Red Tecla. https://www.redtecla.org/sites/default/files/5_TECLA-Cadenas-Bloques-automatizacion-trabajo.pdf
- **Martínez Alier, Joan.** (2021). La brecha de la circularidad y el crecimiento de los movimientos mundiales por la justicia ambiental.
- **Martínez-Simarro D., Lázaro-Ramos J.O.** (2022). Applications and Business Impact of Artificial Intelligence in the Industrial Production of Food and Beverages. En: D. Carou, A. Sartal·y J. P. Davim. Management and Industrial Engineering.
- **McMichael, P.** 2019. Does China's 'going out' strategy prefigure a new food regime? The Journal of Peasant Studies 47 (1): 116–154.
- **Morgan A.** (2011). Dispositivos agregadores de peces (plantados) y atún Impactos y opciones de ordenación. The Pew Environment Group. Serie Ocean Science.
- **NSC** (2024). How demand for transparency is accelerating digital transformation in the seafood industry. https://en.seafood.no/news-and-media/news-archive/how-demand-for-transparency-is-accelerating-digital-transformation-in-the-seafood-industry/
- **Panorama Acuícola** (2022). La granja ecuatoriana Marfrisco, la primera en implementar la Smart Farm creada por Nueva Pescanova

junto a Microsoft. https://panoramaacuicola.com/2022/06/30/la-granja-ecuatoriana-marfrisco-la-primera-en-implementar-la-smart-farm-creada-por-nueva-pescanova-junto-a-microsoft/

- **Pochmann M.** (2025). La disputa por la tierra y el mar en torno a la geopolítica de los datos. Nodal. Noticias de América Latina y el Caribe. https://www.nodal.am/2025/12/la-disputa-por-la-tierra-y-el-mar-en-torno-a-la-geopolitica-de-los-datos/
- **Prause L. Hackfort S. y Lindgren M.** (2021) Digitalization and the third food regime. Agriculture and Human Values 38:641–655
- **Prieto R.** (2024). La agricultura digital como un proceso de innovación para la transformación productiva del sector florícola ecuatoriano. Trabajo de tesis previo a la obtención del grado de Magister en Gestión de la Ciencia y la Tecnología. Escuela Politécnica Nacional.
- **Quiroz A.** (2024). Importancia de la inteligencia artificial en la seguridad de los puertos: caso puerto de Manta. Trabajo de titulación previo al título de Licenciado en Comercio Exterior. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- **Ribeiro S**. (2025). Corporaciones tecnológicas en agricultura y alimentación: edición genómica y digitalización. Agencia de Noticias Tierra Viva.
- **Rodríguez M.C. et al** (2025). Eficiencia operativa de los terminales portuarios y su impacto en el comercio exterior: un análisis desde el caso ecuatoriano. South Florida Journal of Development. 8: 1-18
- **Rodríguez L.** (2025). Análisis del impacto de la digitalización en la eficiencia de los procesos aduaneros en puertos. Universidad Técnica de Machala.
- **Rumbos C.I y Athanassiou C .G.** (2021). Insects as food and feed: if you can't beat them, eat them!-to the Magnificent seven and beyond J. Insect Sci., 21 (2): 9 - 10.
- **Sánchez L.E. et al** (2024). Agricultura de Precisión en el Ecuador. Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar. 8 (1): 1532 - 1542

- **Schroeder K.** (2022) A History of Sequencing. https://frontlinegenomics.com/a-history-of-sequencing/
- **Schwacke R.** (2024). PubPlant – a continuously updated online resource for sequenced and published plant genomes. Front Plant Sci 24 (16):1603547.
- **Singh, A., et al.** (2024). Artificial Intelligence-Based Modeling for Sustainable Management of Fish Genetic Resources: Status and Opportunities. In: Sarkar, U.K., Kumar, T.T.A., Sood, N., Singh, R.K., Kumar, R., Tyagi, L.K. (eds) Sustainable Management of Fish Genetic Resources. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5250-8_14
- **Srnicek N.** (2017). Capitalismo de plataforma. Cambridge: Polity.
- **Starling, M.** (2026). Abandoned tuna-fishing devices pollute the Galápagos Marine Reserve. https://news.mongabay.com/2026/02/abandoned-tuna-fishing-devices-pollute-the-galapagos-marine-reserve
- **Sunda S, et al.** (2025). Tracing U.S. influence in the construction of the global food regime. https://doi.org/10.1007/s44187-025-00627-9
- **Vásquez-Bermúdez M., et al** (2026). Mobile Technologies in Agriculture: A Systematic Review with a Focus on Digital Tools for Banana Cultivation. CITI 2025, CCIS 2776, pp. 51–63. https://doi.org/10.1007/978-3-032-11494-5_4
- **WFO** (2018). Smart Livestock Future trends in the use of innovation technologies for animal health management and monitoring. Magazine f@rmletter No. 69.
- **World Bank Group.** Data Driven Digital Agricultura. https://thedocs.worldbank.org/en/doc/1a163904ccb86646b-f2e5d3d6f427f3d-0090012023/related/WB-DDAG-FA-web.pdf
- **WRM** (2021). La 'economía digital': consolidando el camino a más extracción y contaminación. Boletín 256.

- **Xiaoyan Chen, et al.** (2025). The application of artificial intelligence and gene editing technologies in high-yield crop breeding: Innovations and prospects for future agricultura. Advances in Resources Research. Vol. 5 (1): 146-166 https://doi.org/10.50908/arr.5.1_146
- **Yáñez Serrano P. y Argüelles Ramos** . (2025). "In agriculture 1+1 does not equal 2": Re-configurations and frictions around the implementation of the Digital Farm Book. Environmental Science and Policy 171 (2025) 104128. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.104128
- **Yara** (s/f). Portafolio de Agricultura Digital. https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/portafolio-de-agricultura-digital/
- **Zhang, W. et al.** (2010). Integrating multiple 'omics' analysis for microbial biology: application and methodologies. Microbiology 156: 287-301.
- **Zuboff S.** (2019). La era del capitalismo de vigilancia . Nueva York: PublicAffairs.