



Agrobiotecnología: Desafíos actuales y perspectivas de futuro

Ana María Henao Ramírez, Johana Victoria Escobar Calderón,
Elizabeth Alzate Quintero, Cesar Javier Ortiz Echeverri

Referencia: Henao, A. M., Escobar, J. V., Alzate, E., Ortiz, C. J. (2022) Agrobiotecnología: Desafíos actuales y perspectivas de futuro. *Encuentro SENNOVA del Oriente Antioqueño*, (8), 23-45.

Resumen

Un pilar fundamental en el presente y el futuro próximo es la agrobiotecnología. La globalización, el desarrollo y las nuevas tecnologías juegan un papel importante en el mundo actual, pero están presentando a la sociedad una serie de retos que debemos afrontar. En este contexto, las discusiones en torno a las tecnologías digitales han ido cobrando protagonismo y se evidencian nuevos modelos de negocio y procesos inteligentes aplicados a la biotecnología. La presente revisión proporciona información básica sobre algunas de las principales contribuciones de la agrobiotecnología (AgBiotech). Se vislumbran algunas de las principales oportunidades de las tecnologías digitales en el amplio campo de la agrobiotecnología que buscan satisfacer las necesidades en la productividad de cultivos y alimentos para el bienestar humano, a través de la seguridad alimentaria. Además, en el cuidado de un planeta que requiere cada vez más prácticas que propendan por la sostenibilidad ambiental, y la viabilidad económica de los países.

Palabras clave: AgBiotech, AgTech, Agricultura de precisión, Biotecnología, Industria 4.0.

Introducción

Las grandes problemáticas existentes en el mundo como el cambio climático, la explosión demográfica, la seguridad alimentaria, la transformación económica, entre otras, representan grandes retos que pueden ser resueltos a través de la biotecnología articulada con ciencias artificiales como las computacionales y las de prototipado, que se encuentran a la vanguardia en la Cuarta Revolución Industrial (Show et al., 2022; Xu et al., 2018). Las anteriores revoluciones estuvieron centradas exclusivamente en la materia inerte y física, mientras que la Cuarta Revolución Industrial se abordan tecnologías disruptivas tales como el Internet de las cosas, Big Data, impresión 3D, computación en la nube, robots autónomos, realidad virtual y aumentada, sistema ciber físico, inteligencia artificial, sensores inteligentes, simulación, nanotecnología, drones y biotecnología, entre otros (Massabni & da Silva, 2019; Bongomin et al., 2020).

De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la biotecnología es entendida como cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos o sus derivados, para fabricar o modificar productos o procesos para un uso específico (Organización de las Naciones Unidas para la Salud [FAO], 1992). Hoy en día, las aplicaciones conocidas de la biotecnología pueden verse como un gran espectro, Kafarski (2012) desarrolló un código de colores para diferenciar las principales áreas de la biotecnología: blanco (industrial), azul (marino y de agua dulce), rojo (farmacéutico), marrón (desierto), violeta (patentes e invenciones), entre otros. El color verde en biotecnología representa las áreas agrícola y ambiental, entendiendo la biotecnología agrícola como el uso de herramientas y técnicas científicas para desarrollar el sector agrícola y en la biotecnología ambiental el uso de organismos para prevenir, reducir y tratar la contaminación ambiental (Barkha & Bharti, 2016). **Figura 1.**



Figura 1*Clasificación de la biotecnología moderna.*

Nota. La figura muestra la clasificación de la biotecnología de acuerdo con el color. Fuente: Adaptado de Vallero (2010).

Dentro de la biotecnología agrícola existen diferentes tipos de tecnologías que en su sentido más amplio han sido responsables de sustentar a la humanidad, el crecimiento de su población y la expansión de la complejidad de las sociedades durante milenios (Gabr, 2003). De hecho, la capacidad de satisfacer las necesidades alimentarias básicas del mundo empleando una proporción cada vez menor de labor humana y unidad de tierra es atribuible al desarrollo de tecnologías agrícolas cada vez más sofisticadas (Nyerhovwo & Douglasson, 2010). Las prácticas agronómicas que implican la mecanización, la fertilización del suelo, el control de plagas y enfermedades, junto con el mejoramiento genético de los cultivos han sido las tendencias dominantes y también controversiales en muchos casos, teniendo oposición principalmente, en la disminución de la diversidad de variedades nativas, aumento de los monocultivos o control corporativo de la producción alimentaria (Zimdahl, 2022); sin embargo, algunos de los mayores avances en la productividad y rendimiento de los cultivos han sido gracias a la producción biotecnológica que ha implicado la integración de las tecnologías genéticas y agronómicas (Haggag et al., 2015). En este contexto, el presente documento tiene como objetivo proporcionar información básica sobre el papel que desempeña actualmente la agrobiotecnología y el rol que puede desempeñar en el futuro de los sistemas agrícolas con la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática de la literatura orientada a identificar las contribuciones presentes y perspectivas en torno a la agrobiotecnología y en su relación con la industria 4.0. El proceso de investigación comprendió los siguientes pasos:

1. Definición de una pregunta de investigación para orientar el proceso de búsqueda y análisis de los resultados.



2. Definición de criterios de búsqueda, inclusión y exclusión.
3. Identificación de estudios.
4. Selección de los estudios a partir de criterios establecidos mediante doble revisión.
5. Síntesis de estudios seleccionados mediante doble revisión.
6. Análisis global.

Definición de una pregunta de investigación:

¿Cuáles son las principales contribuciones actuales de la agrobiotecnología y el rol que puede desempeñar en el futuro las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 en los sistemas agrícolas?

Definición de criterios de búsqueda, inclusión y exclusión:

Se realizó un proceso sistemático de búsqueda de literatura científica, publicada en la base de datos Science Direct. Se filtraron los resultados por artículos de investigación y revisiones desde el 2019 al 2022. La búsqueda empleada en la selección del material bibliográfico científico se realizó utilizando una combinación de palabras claves en inglés: “agricultural biotechnology”, “agrobiotechnology”, “AgTech”, “Ag Biotech”, “agrobiotechnology 4.0”.

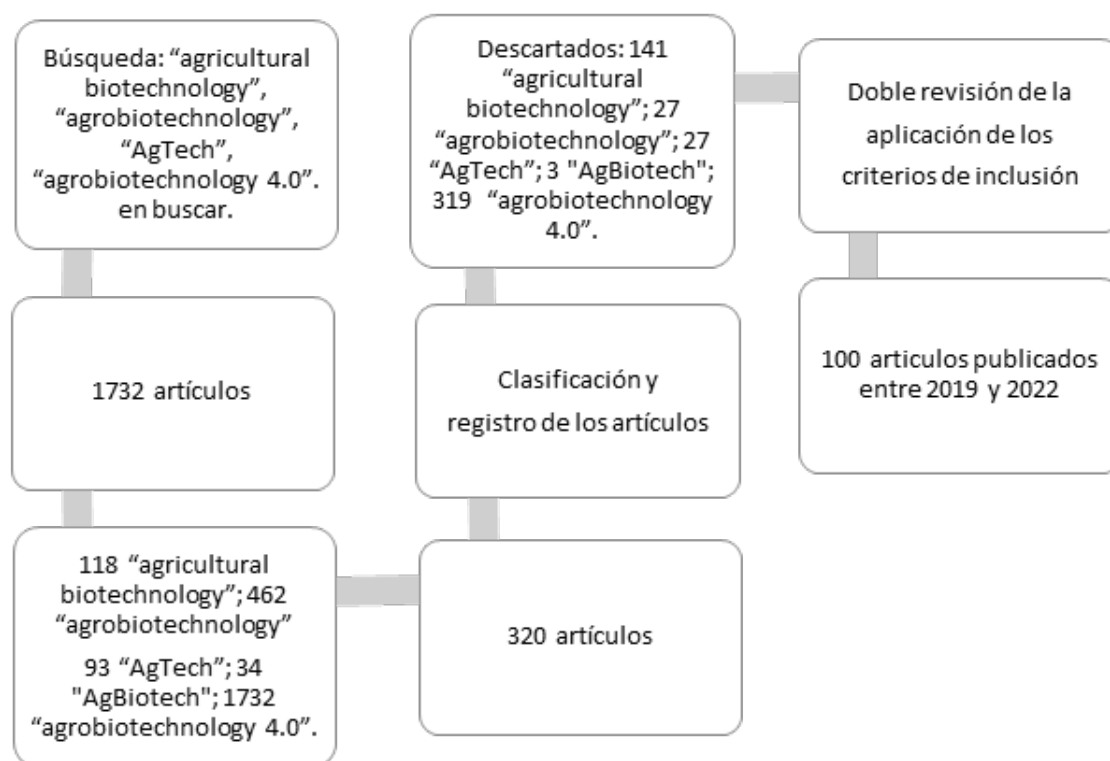
Identificación de estudios

En el proceso de búsqueda se identificaron 2.439 estudios. Se construyó una base de datos con textos con acceso completo a 517 escritos. Finalmente, estos artículos fueron revisados a nivel individual por uno de los investigadores, revisando los títulos y resumen de los trabajos para una selección total de 320 artículos. Después se realizó una revisión grupal para garantizar la adecuada aplicación de los criterios de inclusión. Se definieron los siguientes criterios para la inclusión de la bibliografía a la presente revisión: (1) Que el tema de los documentos fuese sobre agrobiotecnología, incluida la biotecnología vegetal; (2) Que presentara aportes respecto la innovación en el sector relacionados con tecnologías de la industria 4.0; (3) Que presentara evidencias en los mercados relacionados al sector agro biotecnológico. En total se seleccionaron 100 referencias bibliográficas a las cuales se les realizó una revisión detallada con el fin de extraer y discriminar la información necesaria para desarrollar el objetivo de esta revisión (**Figura 2**).

Figura 2

Diagrama del proceso de búsqueda, filtro y selección de los estudios que conformaron la revisión sistemática.





Nota. La Figura muestra el paso a paso de la selección e inclusión de los artículos científicos para llevar a cabo la revisión del tema. Fuente: Elaboración propia.

Desarrollo del tema y discusión

Agrobiotecnología

De acuerdo con U.S Department of Agriculture (USDA, 2022) la agrobiotecnología se define como una amplia gama de herramientas, incluidas las técnicas tradicionales de reproducción, que alteran los organismos vivos, o partes de organismos, para fabricar o modificar productos; mejorar plantas o animales; o desarrollar microorganismos para usos agrícolas específicos. La biotecnología moderna hoy en día incluye las herramientas de la ingeniería genética (USDA, 2022).

Tal vez sea justo decir que los avances más notables que se han realizado en los últimos años en el sector de las biotecnologías agrícolas se han derivado de la investigación sobre los mecanismos genéticos de los que dependen determinados rasgos económicamente importantes (Sowmiyaa & Lavanya, 2020). La genómica es una disciplina en rápido progreso que proporciona información sobre la identidad, ubicación, efectos y funciones de los genes que influyen en esos rasgos. Los conocimientos obtenidos gracias a la genómica han impulsado e impulsarán cada vez más la aplicación de biotecnologías a los cultivos (Vaishnav & Demain, 2009).

La biotecnología agrícola moderna comprende una variedad de instrumentos que emplean los científicos para comprender y manipular la estructura genética de organismos que han de ser utilizados en la producción o elaboración de productos agrícolas (Altman, 2019). Son precisamente los principales descubrimientos pioneros en biología molecular, tales como, la estructura, función y organización de los ácidos nucleicos, genoma, transcriptoma, proteoma y metaboloma, los que han tenido un impacto inmediato con muchas perspectivas para la agricultura y el bienestar humano (Moshelion & Altman, 2015).

Las principales perspectivas presentadas por diferentes autores para resolver los principales obstáculos actuales a la biotecnología agrícola son:

(i) Reducir la brecha genotipo-fenotipo, mediante la mejora de los métodos de selección y de detección cuantitativos y automatizados que se centran en la fisiología de la planta completa. Por ejemplo, transpiración, fotosíntesis y rasgos de calidad. Estos rasgos, combinados con algoritmos de toma de decisiones y aprendizaje automático, mejorarán la liberación de variedades recién obtenidas a los agricultores y evitarán largas fases de desarrollo y estudios de campo a gran escala (Hussain et al., 2018; Kumar et al., 2018; Sallam et al., 2019; Tardieu et al., 2017)

(ii) Reducir la brecha entre el genoma y el medio ambiente, dado que muchos rasgos deseados de las plantas dependen de la interacción de muchos genes y vías metabólicas con este. Se ha mejorado la adopción de la investigación traslacional e interactómica en todas las etapas de I+D, es decir, relacionar continuamente los datos moleculares y el mejoramiento de parámetros para el rendimiento en el campo (Awada et al., 2018; Lenaerts et al., 2019; Qaim, 2020).

(iii) Se debe prestar más atención a los eventos moleculares epigenéticos que son evolutivamente más relevantes para la adaptación de las plantas a entornos cambiantes (Kapazoglou et al., 2018; Kumar et al., 2017; Tirnaz & Batley, 2019; Varotto et al., 2020).

(iv) Mejorar los procedimientos biotecnológicos de producción de nuevos biomateriales (Mimini et al., 2019; Reshetnikov et al., 2022; Szparaga et al., 2021).

(v) Promover un diálogo transparente entre los biólogos moleculares y fisiólogos vegetales, por un lado; y los agricultores, las empresas de mejoramiento y el público por el otro, para resolver de manera conjunta los obstáculos económicos, sociológicos, legales y éticos (Mimini et al., 2019; Reshetnikov et al., 2022; Szparaga et al., 2021). Un enfoque integrado de bioagricultura de sistemas, que también considera el microbioma vegetal, para lograr un progreso sustancial en biotecnología vegetal y agricultura en el siglo XXI (Moshelion y Altman 2015).

Oportunidades

De acuerdo con Sowmiyaa & Lavanya (2020) existe un amplio espectro de oportunidades de productos innovadores que se están abordando actualmente en la biotecnología agrícola (**Tabla 1**). Estas oportunidades pueden clasificarse en la medida en que satisfacen necesidades en la productividad de cultivos (características de entrada), alimentos y bioprocesamiento (características de salida) o nutraceuticos y farmacéuticos (características de salud o medicinales). Todas facilitadas



por las herramientas de la biotecnología antes mencionadas y otras tecnologías habilitadoras que tienen aplicaciones en biotecnología agrícola.

Tabla 1

Oportunidades en el sector agrobiotecnológico.

Características de entrada	
Ingeniería vegetal/fitomejoramiento	Transformación genética de cultivos Tecnologías de expresión/protección de rasgos Tecnologías de reproducción selectiva (mapeo genómico) Control de fertilidad y apomixis
Control de plagas	Resistencia a enfermedades Resistencia a los insectos Resistencia a los nematodos Tolerancia a herbicidas
Mejora del rendimiento	Biomasa vegetal Rendimiento Tolerancia al estrés abiótico Nutrición vegetal y uso del agua
Características de salida	
Alimentos, alimentación y nutrición	Micronutrientes (Hierro, vitaminas) Composición y calidad de las proteínas, por ejemplo, perfiles de aminoácidos Aceites/ceras vegetales (calidad y estabilidad) Carbohidratos (almidón/gomas y calidad) Fitoquímicos (isoflavonas, antioxidantes) Calidad alimentaria, vida útil mejorada, alergenicidad/mitoxinas reducidas.
Plantas de procesamiento de alimentos	Plantas como sistemas de expresión/suministro de enzimas alimentarias, por ejemplo, lactasa, lipasa Enzimas para mejorar el procesamiento y la consistencia de los alimentos, con reducción Residuos, por ejemplo, fitasa, celulasa
Procesamiento industrial	Bioenergía (bioetanol) Biocatálisis Biofibras y biopolímeros Biosensores y biorremediación
Características medicinales	
Nutracéuticos y farmacéuticos	Productos naturales, nutracéuticos, fitoquímicos medicinales, productos farmacéuticos Moléculas terapéuticamente bioactivas modificadas (fitoquímica) Plantas como sistemas de expresión/suministro para terapéuticos (vacunas comestibles, anticuerpos vegetales)



Nota. En la tabla se muestran las oportunidades en el sector agrobiotecnológico. Fuente: Acquavia et al., (2021); Anand et al., (2019); Antonacci et al., (2018); Arduini et al., (2017); Benedetti et al., (2018); Chattopadhyay et al., (2017); Dahabieh et al., (2018); Gahukar & Das, (2020); Ghoshal, (2018); Halder et al., (2018); Hernández-Rosas et al., (2020); Kannan et al., (2019); Kaushal et al., (2018); Morawicki & Díaz González, (2018); Paul et al., (2020); Sharma & Kaushik, (2021); Singh et al., (2020); Srivastava, (2019); Wang et al., (2014); Yu et al., (2019).

No solo en el foco de rendimiento y productividad (toneladas de producto por hectárea) se ha centrado la agrobiotecnología, también la calidad nutricional y aprovechamiento de compuestos con bioactividad para el beneficio de la salud humana ha sido fundamental. Una de las ciencias que se ha venido estudiando para el desarrollo de estos productos es la transgénesis, que busca por ejemplo eliminar o disminuir sustancias de un alimento o producto que puedan causar daño a la salud humana como las sustancias tóxicas o alergénicas; también la agregación de valor nutricional donde se añade o aumentan vitaminas o minerales en un alimento con el fin de enriquecer su valor composicional y obtener mejoras a la salud con la ingesta determinado producto (Malik & Maqbool, 2020; Raybould, 2021).

El desarrollo tecnológico impulsado por investigaciones de tipo agroindustrial ha proyectado un tipo de producción de alimentos más saludables, acompañados de ciencias afines a la agrobiotecnología como la genómica, proteómica, lipidómica y metabolómica que ayudan a descubrir marcadores moleculares específicos en los alimentos, los cuales tienen potenciales efectos a la salud humana y prevención de enfermedades significativamente degenerativas (Ochoa, 2006). Existen varios ejemplos muy sonados a nivel publicitario, como el arroz dorado o “Golden Rise” que se encuentra enriquecido con Beta-caroteno para alimentar a poblaciones con deficiencias de este precursor de la vitamina A (Moghissi et al., 2016); aunque en la actualidad se necesitaría consumir 4 kg de arroz dorado para lograr una cantidad de beta-caroteno similar a lo que aporta una zanahoria. Por ello, se requieren más estudios acerca de la pertinencia de los desarrollos y la evaluación de riesgos sobre todo a los cultivos nativos y protección de germoplasmas a nivel estatal, para garantizar un desarrollo sostenible de la agrobiotecnología en la población mundial.

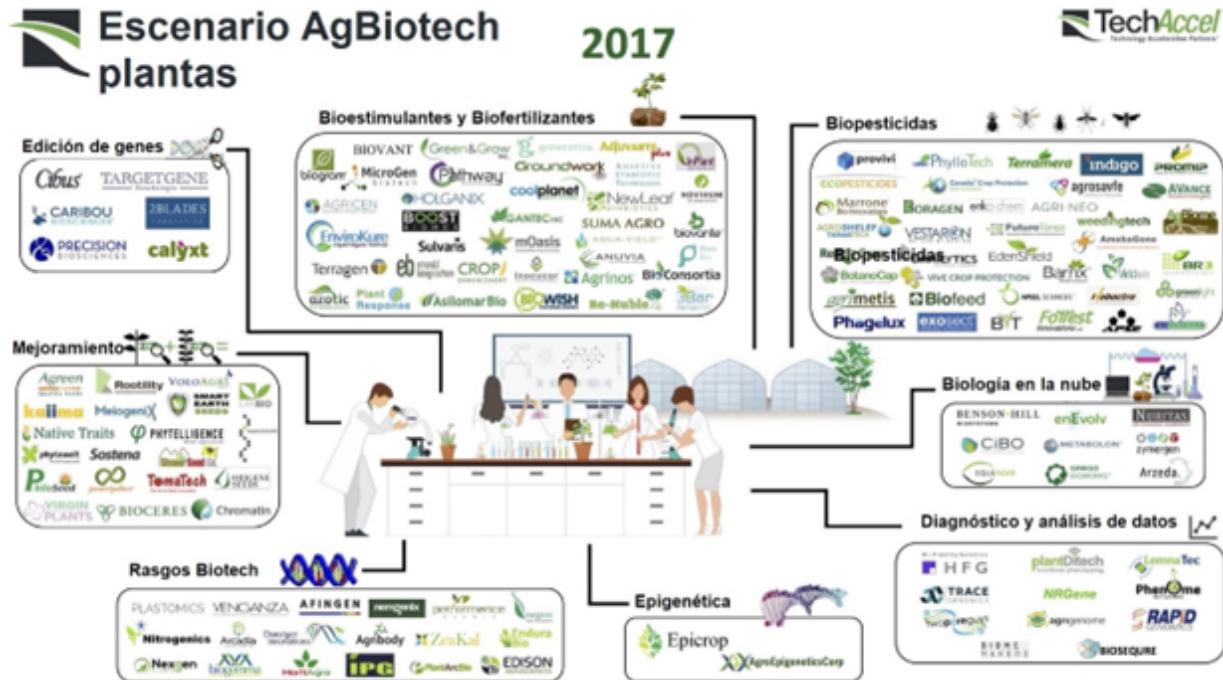
Mercados de la biotecnología agrícola o agrobiotecnología (Ag Biotech)

En la Ag Biotech se aplica a todas las tecnologías utilizadas en la granja que involucran procesos biológicos o químicos (Jhala et al., 2020; Manda et al., 2020; Meena & Mishra, 2020). Es una categoría amplia que involucra muchos tipos de tecnología y ciencia. La biotecnología agrícola es un componente central del panorama de inversión en tecnología agroalimentaria, de acuerdo con Morris (2017) las nuevas empresas recaudaron 262 millones de dólares solo en la primera mitad de ese año (**Figura 3**).

Figura 3

Escenario de sectores empresariales en la AgBiotech de plantas a nivel mundial para el 2017.





Nota. La figura muestra el escenario de sectores empresariales de plantas a nivel mundial en el año 2017. Fuente: Adaptado de Morris (2017).

Edición de genes

La edición de genes es una herramienta de biotecnología agrícola que se utiliza para insertar, editar o eliminar con precisión el ácido desoxirribonucleico (ADN) de un organismo (Yang & Hobbs, 2020). Se podrían utilizar uno de varios enfoques, incluidos CRISPR-Cas9, TALENs y Zinc Fingers para crear genes resistentes a enfermedades, mejorar la salud y la nutrición o mejorar el rendimiento por una fracción del tiempo y costo en comparación con modificación genética o tradicional (Dilawari et al., 2021; Rai et al., 2021; Srivastava, 2019). En la **Tabla 2** se relacionan algunas de las empresas que trabajan actualmente con edición de genes.

Tabla 2
Una selección de empresas que utilizan técnicas de edición de genes para la mejora de cultivos

Empresa		Ubicación	Año de establecimiento	Herramientas o servicios	Cultivos
Benson Biosystems	Hill	St. Louis, MO	2012	CRISPR-Cas9	Cultivos intensivos editados para mayor rendimiento,

(BensonHill, 2020)				resistencia al estrés y tolerancia a herbicidas
Corteva (división de agricultura de DowDuPont) (Corteva, 2022)	Wilmington, DE	2018	CRISPR-Cas9	Maíz ceroso modificado para la composición del almidón
Pairwise (Corteva, 2022)	Durham, NC	2018	CRISPR-Cas9	Cultivos intensivos como el maíz y la soja con mayor productividad, resistencia a enfermedades; frutas y verduras más convenientes
Syngenta (Corteva, 2022)	Basel, Suiza	2000	CRISPR-Cas9	Maíz, soja, trigo, tomate, girasol, modificado para aumentar el rendimiento
Tropic Biosciences (Corteva, 2022)	Norwich, UK	2016	CRISPR-Cas9	Plátanos resistentes a enfermedades, café descafeinado
Yield10 Bioscience (Corteva, 2022)	Woburn, MA	2015	CRISPR-Cas9	Lino diseñado para un mayor contenido de aceite

Nota. En la tabla se muestran las empresas que hacen edición de genomas en cultivos. Fuente: Elaboración propia.

Mejoramiento genético

Hay algunas nuevas empresas que desarrollan tecnologías innovadoras de reproducción y/o genética que evitan la carga regulatoria de un organismo modificado genéticamente (Agarwal et al., 2020). Tres ejemplos son Epicrop Technologies, un startup que utiliza la epigenética para mejorar el rendimiento, la tolerancia al estrés y el vigor en varios cultivos; Kaiima Bio Agritech (Sowmiyaa & Lavanya, 2020), una empresa que utiliza mutagénesis y otras tecnologías para mejorar el rendimiento de los cultivos; y Phytelligence (Sowmiyaa & Lavanya, 2020), un startup que utiliza tecnología patentada de cultivo de tejidos y protocolos para producir portainjertos más baratos, rápidos



y superiores.

Biología de la nube

Invertir en la intersección de la biología y los datos inteligentes es uno de los enfoques para resolver la crisis alimentaria mundial (Munir et al., 2018). Cloud Biology, que combina avances en genómica, computación en la nube, inteligencia artificial automatización de alto rendimiento, acelera los plazos de desarrollo, reduce los costos y produce cultivos optimizados (Kakani et al., 2020). Benson Hill Biosystems es líder en esta categoría y se centra exclusivamente en la agricultura (Ventures, 2017).

Biológicos y microbioma

Los insumos agrícolas en esta categoría incluyen bio-plaguicidas, sustancias naturales o microorganismos aplicados a semillas, plantas o suelo que controlan plagas y enfermedades por medios no tóxicos (Jhala et al., 2020; Manda et al., 2020; Meena & Mishra, 2020), y bioestimulantes/biofertilizantes, sustancias naturales o microorganismos que mejoran el crecimiento, la salud y la productividad de las plantas, o aumentar la disponibilidad de nutrientes (Barragán et al., 2021).

Existe una gran oportunidad en la investigación de microbiomas y productos biológicos a medida que las empresas se alejan de la química agrícola tradicional (Riat & Kaur, 2019). Los costos más bajos, los obstáculos regulatorios y las preocupaciones ambientales juegan un papel importante. Las empresas que recopilan datos relacionados con el microbioma y crean análisis predictivos pueden ser un objetivo de adquisición temprano para una gran empresa de semillas/fertilizantes/productos químicos o una nueva empresa respaldada por empresas que buscan mejorar el desarrollo interno de productos (Jhala et al., 2020; Manda et al., 2020; Meena & Mishra, 2020).

Innovación aplicada a la agricultura: AgTech

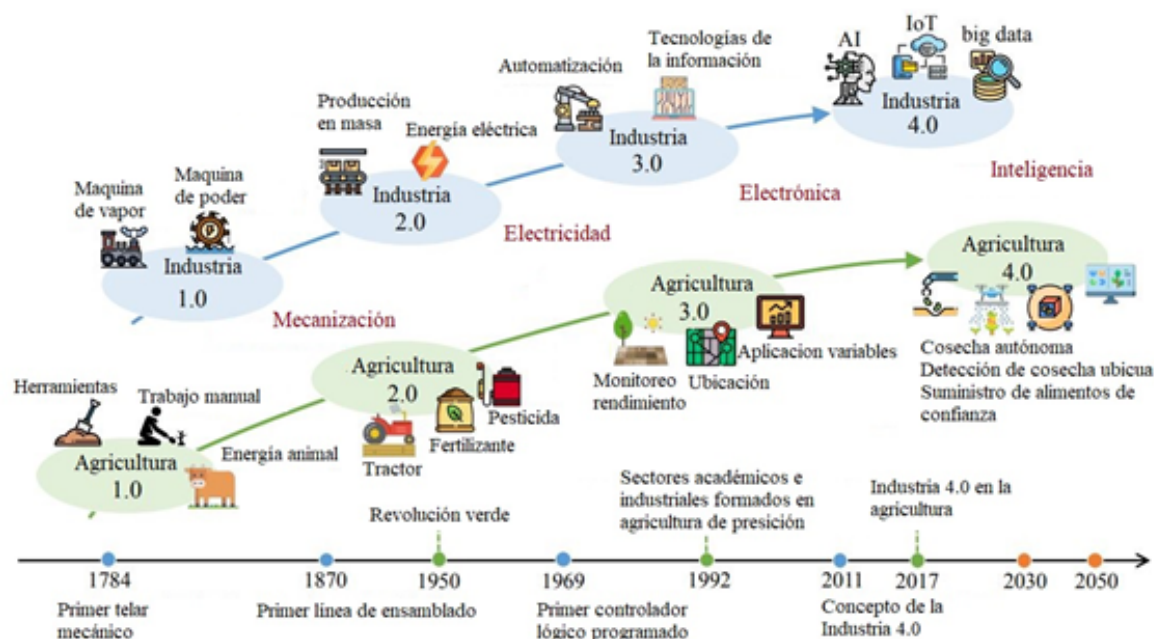
El monocultivo es el principal patrón de producción agrícola en la agricultura industrial actual, sin embargo, son múltiples los efectos negativos sobre el medio ambiente (Niether et al., 2020; Putra et al., 2020; Salaheen & Biswas, 2019). Aunque actualmente el proceso de producción agrícola en proceso de mecanización e informatización, la aplicación de nuevas tecnologías es aún incipiente (Abdulwaheed, 2019; Arifjanov et al., 2019). Para abordar estos problemas, es esencial integrar las tecnologías emergentes en la agricultura que permitirán a largo plazo mitigar algunos de los efectos negativos de las prácticas agrícolas (Rakhra et al., 2022; Wu et al., 2020).

El término 'AgTech' abarca una amplia gama de nuevas tecnologías que son aplicadas a los sistemas agropecuarios permitiendo aumentar la productividad, la eficiencia y la rentabilidad (Cavallo et al., 2019). La rápida evolución de la tecnología y la digitalización está transformando el sector agropecuario con la incorporación de las AgTech (**Figura 3**) (Cavallo et al., 2020; Koch, 2019; Liu et al., 2021; von Veltheim & Heise, 2020; Waltz, 2017). De acuerdo con Lachman et al., (2021) en el sector agroindustrial las empresas Agtech son aquellas que proveen servicios intensivos en conocimiento basados en tecnologías digitales para las diversas etapas de las cadenas agroalimentarias, desde la producción a campo hasta las fases de industrialización, logística y comercialización (Berman & Schallmo, 2021).



Figura 3

Hoja de ruta del desarrollo de las revoluciones industriales y las revoluciones agrícolas.



Nota. La Figura presenta la hoja de ruta del desarrollo de las revoluciones industriales y las revoluciones agrícolas. Fuente: Adaptado de Morris (2017).

Las nuevas tecnologías se basan en la inteligencia artificial para relevar, integrar y analizar los datos provenientes del campo, la genética, las transacciones, fenómenos climáticos y así revolucionar al sector de los agronegocios (Legun et al., 2022; von Veltheim & Heise, 2020). Su inclusión permite aumentar el potencial productivo y disminuir el impacto ambiental para lograr más rentabilidad de la mano de la digitalización y la innovación como las tecnologías blockchain (Foth & McQueenie, 2019). El Blockchain in la agricultura ayudará a los agricultores y a los responsables políticos en la toma de decisiones y proporciona información en tiempo real de diversos datos, desde cultivos hasta el clima (Sowmiyaa & Lavanya, 2020). Por ejemplo, mediante el uso de sensores para realizar siembras y fertilizaciones, remotos y comunicación satelital, redes de sensores, drones, aplicaciones o sitios de pronósticos climáticos y mercados online, son algunas de las más recientes innovaciones tecnológicas (Ayaz et al., 2019; Islam et al., 2021; Mekonnen et al., 2019; Mohamed et al., 2021) (**Figura 4**).

Figura 4

Red integrada espacio-aire-tierra-superficie para la detección y la creación de redes de agricultura ubicua.



Nota. La figura representa la red integrada espacio-aire-tierra-superficie para la detección y la creación de redes de agricultura ubicua. Fuente: Adaptado de Morris (2017).

Agricultura de precisión

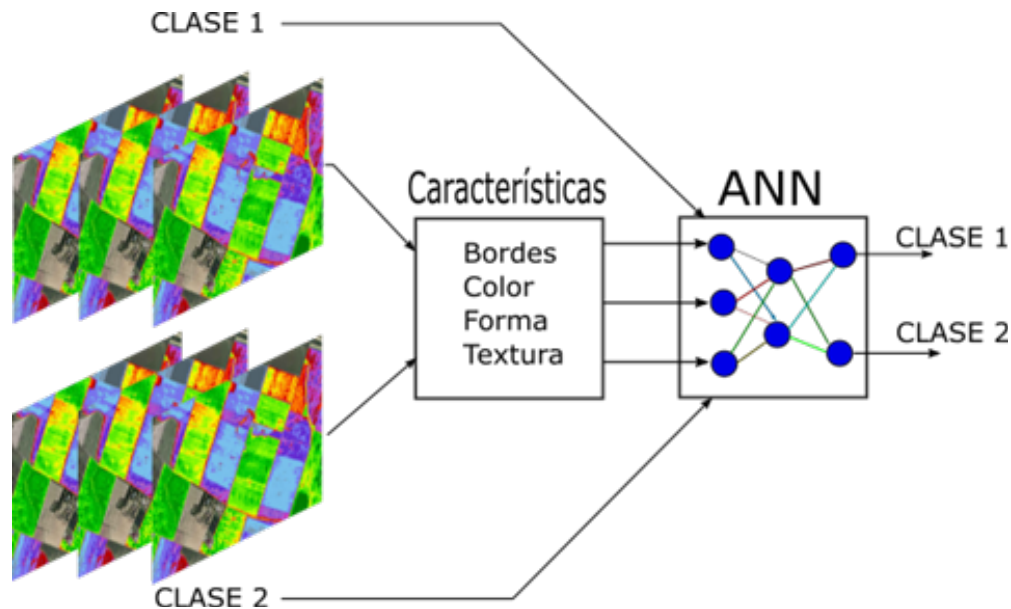
La Agricultura de Precisión (AP) agrupa tecnologías previamente mencionadas como redes de sensores, drones, cámaras multiespectrales, en donde los datos son procesados usando algoritmos para ayudar con la toma de decisiones que buscan optimizar los recursos necesarios para el cultivo (Ibarra, 2022; Montoya et al., 2017). Como ejemplo podemos pensar en un cultivo determinado en el cual se espera identificar de forma temprana el foco de una plaga para evitar fumigar con pesticidas toda el área y solamente hacerlo en donde se estén presentando los primeros casos de infección, de esta forma se reduce el uso de químicos que pueden tener efectos secundarios negativos en el ecosistema y reducen costos en los insumos (González et al., 2016). Para lograr esto se deben realizar caracterizaciones específicas para cada cultivo y para cada plaga en particular, lo que implica recopilar, procesar y validar grandes volúmenes de datos, es por esto la importancia de tecnologías asociadas al Big Data (González et al., 2016). Para el análisis de estos datos actualmente se usan algoritmos de aprendizaje automático, conocido también como aprendizaje de máquinas (del inglés, machine learning) tales como las Redes Neuronales Artificiales (ANN por sus siglas en inglés), que son inspiradas en las redes neuronales biológicas. Para que las ANN puedan clasificar los datos de entrada provenientes de los sensores o de imágenes del cultivo tomadas desde el aire, estas deben ser previamente entrenadas y para dicho entrenamiento es fundamental tener datos etiquetados, es decir que la ANN pueda saber cuáles datos son de la parte infectada del cultivo y cuáles son de las regiones sanas (González et al., 2016). Una vez entrenada, la ANN debe tener la capacidad de hacer predicciones con datos nuevos que no están etiquetados.

En la **Figura 5** se muestra un ejemplo para el entrenamiento de una ANN, considerando imágenes multiespectrales tomadas desde el aire de un cultivo determinado, y con los datos previamente

etiquetados como CLASE 1 y CLASE 2, en donde una clase sea el cultivo infectado y la otra clase el cultivo sano. La etapa previa consiste en extraer las características o patrones presentes en las imágenes tales como bordes, color, texturas, entre otros. El entrenamiento de la ANN consiste en ajustar los pesos o valores de conexión entre las neuronas que conforman la red. Una vez entrenada, la ANN debe tener la capacidad de clasificar nuevas imágenes y determinar qué parte del cultivo presenta una anomalía determinada.

Figura 5

Entrenamiento de una ANN para aplicaciones en AP.



Nota. Entrenamiento de una ANN para aplicaciones en AP. Fuente: autoría propia.

Una de las arquitecturas de Machine Learning más usadas actualmente y que se han convertido en el estado del arte en gran parte de aplicaciones relacionadas con la visión por computador son conocidas como Redes Neuronales Convolucionales (CNN por sus siglas en inglés), inspiradas en las neuronas que procesan la visión en los ojos biológicos (Wang et al., 2014, González et al., 2016, Kamilaris, A.). Las CNN cumplen la función de la extracción de características mediante operaciones matriciales entre las imágenes de entrada y unos filtros, conocidos también como kernels logrando encontrar patrones que van aumentando en complejidad y abstracción en cada capa de la red. Finalmente se usa una ANN como etapa de clasificación de características, en donde una vez entrenada la red, esta puede encontrar sutiles cambios en una zona de cultivo.

Conclusión

La biotecnología en la agricultura se considera un complemento científico a la agricultura convencional. Es una herramienta que utiliza organismos vivos o sustancias obtenidas de éstos para crear o modificar un producto con fines prácticos. Las aplicaciones de la biotecnología son innumerables y gracias a los avances generados de la biología sintética y la edición genómica se encuentran en

evolución continua, siendo actualmente consideradas como uno de los motores de la industria 4.0. Por otro lado, el desarrollo de las ciencias computacionales como el análisis y procesamiento de grandes volúmenes de datos y la inteligencia artificial, ha impulsado la optimización de recursos en la productividad agrícola y busca minimizar la escasez de alimentos, mitigar la pérdida de biodiversidad y los efectos del cambio climático.

Referencias

Abdulwaheed, A. (2019). Benefits Of Precision Agriculture in Nigeria. London Journal of Research in Science: *Natural and Formal*, 19(2), 29–34. https://journalspress.com/LJRS_Volume19/507_Benefits-of-Precision-Agriculture-in-Nigeria.pdf

Acquavia, M. A., Pascale, R., Martelli, G., Bondoni, M., & Bianco, G. (2021). Natural Polymeric Materials: A Solution to Plastic Pollution from the Agro-Food Sector. *Polymers* 13(1). <https://doi.org/10.3390/polym13010158>

Agarwal, G., Kudapa, H., Ramalingam, A., Choudhary, D., Sinha, P., Garg, V., Singh, V. K., Patil, G. B., Pandey, M. K., & Nguyen, H. T. (2020). Epigenetics and epigenomics: underlying mechanisms, relevance, and implications in crop improvement. *Functional & Integrative Genomics*, 20(6), 739–761.

Altman, A. (2019). Plant tissue culture and biotechnology: perspectives in the history and prospects of the International Association of Plant Biotechnology (IAPB). *Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant*, 55(5), 590–594. <https://doi.org/10.1007/s11627-019-09982-6>

Anand, U., Jacobo-Herrera, N., Altemimi, A., & Lakhssassi, N. (2019). A Comprehensive Review on Medicinal Plants as Antimicrobial Therapeutics: Potential Avenues of Biocompatible Drug Discovery. *Metabolites*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/metabo9110258>

Antonacci, A., Arduini, F., Moscone, D., Palleschi, G., & Scognamiglio, V. (2018). Nanostructured (Bio)sensors for smart agriculture. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, (98), 95–103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.10.022>

Arduini, F., Cinti, S., Scognamiglio, V., Moscone, D., & Palleschi, G. (2017). How cutting-edge technologies impact the design of electrochemical (bio)sensors for environmental analysis. *A review. Analytica Chimica Acta*, (959), 15–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.12.035>

Arifjanov, A., Apakhodjaeva, T., & Akmalov, S. (2019). *Calculation of losses for transpiration in water reservoirs with using new computer technologies*. 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), 1–4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9011883>

Awada, L., Phillips, P. W. B., & Smyth, S. J. (2018). The adoption of automated phenotyping by plant breeders. *Euphytica*, 214(8), 148. <https://doi.org/10.1007/s10681-018-2226-z>



Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E.-H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access*, (7), 129551–129583. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8784034>

Barkha, S., & Bharti, S. (2016). Green Biotechnology and Scope of Genetically modified Crops: Facts and Prejudices. *Indian Journal of Agriculture Business*, (2), 1–11. https://www.researchgate.net/profile/Barkha_Sharma3/publication/315045012_Green_Biotechnology_and_Scope_of_Genetically_modified_Crops_Facts_and_Prejudices_Sharma_Barkha_Bharti_SK_Anita_Parul/links/58c8d02092851c2b9d528062/Green-Biotechnology-and-Scope-of-

Barragán, A., De-Hoyos, A., Luna, K. A., & Virgilio, T. A. (2021). *Supplementary materials on Agricultural Technology, Biofertilizers, Biopesticides and Compost*. <https://repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/26382/1/Supplementary%20materials%20on%20Agricultural%20Technology.pdf>

Benedetti, M., Vecchi, V., Barera, S., & Dall'Osto, L. (2018). Biomass from microalgae: the potential of domestication towards sustainable biofactories. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 173. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1019-3>

BensonHill. (2020). *Benson Hill Inc*. <https://bensohill.com/>

Berman, T., & Schallmo, D. (2021). *Digital Transformation of Business Models in the Israeli AgTech Landscape*. ISPIIM Conference Proceedings, 1–18.

Bongomin, O., Ocen, G., Nganyi, E., Musinguzi, A., & Omara, T. (2020). Exponential disruptive technologies and the required skills of industry 4.0. *Journal of Engineering*, 1-17. <https://doi.org/10.1155/2020/4280156>

Cavallo, A., Ghezzi, A., & Guzmán, B. V. R. (2019). Driving internationalization through business model innovation: evidences from an AgTech company. *Multinational Business Review*, 28(2). <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/MBR-11-2018-0087/full/html>

Cavallo, A., Ghezzi, A., & Ruales Guzmán, B. V. (2020). Driving internationalization through business model innovation: Evidences from an AgTech company. *Multinational Business Review*, 28(2), 201–220. <https://doi.org/10.1108/MBR-11-2018-0087>

Chattopadhyay, P., Banerjee, G., & Mukherjee, S. (2017). Recent trends of modern bacterial insecticides for pest control practice in integrated crop management system. *3 Biotech*, 7(1), 60. <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0717-6>

Corteva. (2022). *Corteva Agriscience*. <https://www.corteva.com/>

Dahabieh, M. S., Bröring, S., & Maine, E. (2018). Overcoming barriers to innovation in food and agricultural biotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, (79), 204–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.004>



Dilawari, R., Kaur, N., Priyadarshi, N., Kumar, B., Abdelmotelb, K. F., Lal, S. K., Singh, B., Tripathi, A., Aggarwal, S. K., & Jat, B. S. (2021). Genome editing: a tool from the vault of science for engineering climate-resilient cereals. *Springer: Harsh Environment and Plant Resilience* (45–72).

Foth, M., & McQueenie, J. (2019). Creatives in the country? Blockchain and agtech can create unexpected jobs in regional Australia. *The Conversation*, (1–5). <https://theconversation.com/creatives-in-the-country-blockchain-and-agtech-can-create-unexpected-jobs-in-regional-australia-117017>

Gabr, M. (2003). *Biotechnology: Perspectives of civil society. Biotechnology and Sustainable Development: Voices of the South and North*. https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=JgpLeje8T74C&oi=fnd&pg=PA221&dq=Biotechnology:+Perspectives+of+civil+society.&ots=jtf6_rxkbl&sig=f7CAzm_L8hT0bHposmb57ddb3-Q#v=onepage&q=Biotechnology%3A%20Perspectives%20of%20civil%20society.&f=false

Gahukar, R. T., & Das, R. K. (2020). Plant-derived nanopesticides for agricultural pest control: challenges and prospects. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 5(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s41204-020-0066-2>

Ghoshal, G. (2018). Chapter 2 - Biotechnology in Food Processing and Preservation: An Overview. En A. M. Holban and A. M. Grumezescu (Eds.), *Advances in Biotechnology for Food Industry* (pp. 27-54). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811443-8.00002-5>

González, A., Amarillo, G., Amarillo, M., y Sarmiento, F. (2016). Drones aplicados a la agricultura de precisión. *Publicaciones e Investigación*, (10), 23–37. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/1585>

Haggag, W. M., Abouziena, H. F., Abd-El-Kreem, F., & El Habbasha, S. (2015). Agriculture biotechnology for management of multiple biotic and abiotic environmental stress in crops. *J. Chem. Pharm. Res*, 7(10), 882–889. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153415617>

Halder, M., Roychowdhury, D., & Jha, S. (2018). A Critical Review on Biotechnological Interventions for Production and Yield Enhancement of Secondary Metabolites in Hairy Root Cultures. En V. Srivastava, S. Mehrotra, & S. Mishra (Eds.), *Hairy Roots: An Effective Tool of Plant Biotechnology* (pp. 21–44). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2562-5_2

Hernández-Rosas, F., Figueroa-Rodríguez, K. A., García-Pacheco, L. A., Velasco-Velasco, J., & Sangerman-Jarquín, D. M. (2020). Microorganisms and Biological Pest Control: An Analysis Based on a Bibliometric Review. *Agronomy*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/agronomy10111808>

Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, (201), 152–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.005>



org/10.1016/j.agwat.2018.01.028

Ibarra, G. E. R. (2022). Agricultura de Precisión: La integración de las TIC en la producción Agrícola. *Journal of Computer and Electronic Sciences: Theory and Applications*, 3(1), 34–38. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/CESTA/article/view/3978>

Islam, N., Rashid, M. M., Pasandideh, F., Ray, B., Moore, S., & Kadel, R. (2021). A review of applications and communication technologies for internet of things (Iot) and unmanned aerial vehicle (uav) based sustainable smart farming. *Sustainability*, 13(4), 1821. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/4/1821>

Jhala, J., Baloda, A. S., & Rajput, V. S. (2020). Role of bio-pesticides in recent trends of insect pest management: a review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(1), 2237–2240. <https://www.phytojournal.com/archives/2020/vol9issue1/PartAL/9-1-403-760.pdf>

Kafarski, P. (2012). Rainbow code of biotechnology. *Chemik*, 66(8), 811–816. https://www.researchgate.net/publication/287253802_Rainbow_code_of_biotechnology

Kakani, V., Nguyen, V. H., Kumar, B. P., Kim, H., & Pasupuleti, V. R. (2020). A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry. *Journal of Agriculture and Food Research*, (2), 100033. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/6916494>

Kannan, M., Mubarakali, D., Thiyonila, B., Krishnan, M., Padmanaban, B., & Shantkriti, S. (2019). Insect gut as a bioresource for potential enzymes- an unexploited area for industrial biotechnology. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (18), 101010. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.01.048>

Kapazoglou, A., Ganopoulos, I., Tani, E., & Tsaftaris, A. (2018). Chapter Nine- Epigenetics, Epigenomics and Crop Improvement. En M. Kuntz (Ed.), *Transgenic Plants and Beyond* (Vol. 86, pp. 287–324). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.abr.2017.11.007>

Kaushal, J., Mehandia, S., Singh, G., Raina, A., & Arya, S. K. (2018). Catalase enzyme: Application in bioremediation and food industry. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (16), 192–199. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.035>

Koch, N. (2019). AgTech in Arabia: “Spectacular forgetting” and the technopolitics of greening the desert. *Journal of Political Ecology*, 26(1), 666–686. <https://doi.org/10.2458/V26I1.23507>

Kumar, Sanjay, Sachdeva, S., Bhat, K. V, & Vats, S. (2018). Plant Responses to Drought Stress: Physiological, Biochemical and Molecular Basis. En S. Vats (Ed.), *Biotic and Abiotic Stress Tolerance in Plants* (pp. 1–25). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_1

Kumar, S., Singh, A. K., & Mohapatra, T. (2017). Epigenetics: History, present status and future perspective. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 77(4), 445–463. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2017.00061.X>



Lachman, J., López, A., Tinghitella, G., y Gómez-Roca, S. (2021). *Las Agtech en Argentina: desarrollo reciente, situación actual y perspectivas*. Facultad de Ciencias Económicas. Universidad de Buenos Aires. http://bibliotecadigital.econ.uba.ar/econ/collection/docin/document/docin_iiep_057

Legun, K., Burch, K. A., & Klerkx, L. (2022). Can a robot be an expert? The social meaning of skill and its expression through the prospect of autonomous AgTech. *Agriculture and Human Values*, (1–17). <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10460-022-10388-1.pdf?pdf=button>

Lenaerts, B., Collard, B. C. Y., & Demont, M. (2019). Review: Improving global food security through accelerated plant breeding. *Plant Science*, (287), 110207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110207>

Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2021). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322–4334. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910>

Malik, K. A., & Maqbool, A. (2020). Transgenic crops for biofortification. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (4), 571402. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.571402/full>

Manda, R., Addanki, V., & Srivastava, S. (2020). Microbial bio-pesticides and botanicals as an alternative to synthetic pesticides in the sustainable agricultural production. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, (21), 31–48. https://www.researchgate.net/publication/346628373_Microbial_bio-pesticides_and_botanicals_as_an_alternative_to_synthetic_pesticides_in_the_sustainable_agricultural_production#:~:text=The%20utilization%20of%20microbial%20bio,and%20insect%20pest's%20in%20agriculture.

Massabni, A. C., & da Silva, G. J. (2019). Biotechnology and Industry 4.0: The professionals of the future. *International Journal of Advances in Medical Biotechnology-IJAMB*, 2(2), 45–53. <https://doi.org/10.25061/2595-3931/IJAMB/2019.v2i2.39>

Meena, R. K., & Mishra, P. (2020). Bio-pesticides for agriculture and environment sustainability. *Resources Use Efficiency in Agriculture* (85–107). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-6953-1_3

Mekonnen, Y., Namuduri, S., Burton, L., Sarwat, A., & Bhansali, S. (2019). Machine learning techniques in wireless sensor network based precision agriculture. *Journal of the Electrochemical Society*, 167(3), 37522. https://digitalcommons.fiu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1053&context=ece_fac

Mimini, V., Sykacek, E., Syed, S. N. A., Holzweber, J., Hettegger, H., Fackler, K., Potthast, A., Mundigler, N., & Rosenau, T. (2019). Compatibility of kraft lignin, organosolv lignin and lignosulfonate with PLA in 3D printing. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 39(1), 14–30.



Moghissi, A. A., Pei, S., & Liu, Y. (2016). Golden rice: scientific, regulatory and public information processes of a genetically modified organism. *Critical Reviews in Biotechnology*, 36(3), 535–541. <http://dx.doi.org/10.3109/07388551.2014.993586>

Mohamed, E. S., Belal, A. A., Abd-Elmabod, S. K., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. (2021). Smart farming for improving agricultural management. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 971–981. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110982321000582>

Montoya, E. A. Q., Colorado, S. F. J., Muñoz, W. Y. C., & Golondrino, G. E. C. (2017). Propuesta de una arquitectura para agricultura de precisión soportada en IoT. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (24), 39–56. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6673698>

Morawicki, R. O., & Díaz González, D. J. (2018). Food Sustainability in the Context of Human Behavior. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 91(2), 191–196. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29955224>

Morris, B. (2017). Ag Biotech Market Map: 245 Startups Using Biology & Chemistry to Revolutionize Agriculture. AgFunder. <https://agfundernews.com/ag-biotech-market-map.html>

Moshelion, M., & Altman, A. (2015). Current challenges and future perspectives of plant and agricultural biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 33(6), 337–342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.03.001>

Munir, M., Baumbach, S., Gu, Y., Dengel, A., & Ahmed, S. (2018). Data analytics: industrial perspective & solutions for streaming data. *Data Mining in Time Series and Streaming Databases 83*(pp. 144–168). World Scientific. https://doi.org/10.1142/9789813228047_0007

Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W. J., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10), 104085. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abb053/meta>

Nyerhovwo, J. T., & Douglasson, G. O. (2010). Biotechnology and food security in developing countries. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 4(1), 13–23.

Ochoa, B. (2006). La lipidómica, una nueva herramienta al servicio de la salud. *Gaceta Médica de Bilbao*, 103(3), 101–102. <https://www.elsevier.es/es-revista-gaceta-medica-bilbao-316-articulo-la-lipidomica-una-nueva-herramienta-S0304485806745346>

Organizacion de las Naciones Unidas para la Salud [FAO]. (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica*. <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convenio-la-diversidad-biologica>

Paul, M. J., Watson, A., & Griffiths, C. A. (2020). Linking fundamental science to crop impro-



vement through understanding source and sink traits and their integration for yield enhancement. *Journal of Experimental Botany*, 71(7), 2270–2280. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz480>

Putra, R. P., Ranomahera, M. R. R., Rizaludin, M. S., Supriyanto, R., & Dewi, V. A. K. (2020). Short Communication: Investigating environmental impacts of long-term monoculture of sugarcane farming in Indonesia through DPSIR framework. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(10), 4945–4958. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211061>

Qaim, M. (2020). Role of New Plant Breeding Technologies for Food Security and Sustainable Agricultural Development. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 42(2), 129–150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aepp.13044>

Rai, K. K., Aamir, M., Zehra, A., & Rai, A. C. (2021). Research Trends in Genetically Modified (GM) Plants. En P. Singh, A. Borthakur, A. A. Singh, A. Kumar and K. K. Singh (Eds.), *Policy Issues in Genetically Modified Crops* (pp. 453–480) https://www.researchgate.net/publication/346075855_Research_Trends_in_Genetically_Modified_GM_Plants

Rakhra, M., Deb, P., Dahiya, O., Chandel, S. S., Bhutta, B., Badotra, S., Kumar, S., Shaukat, A., & Singh, D. (2022). *An Analytical Study of the Types of Implements used by Farmers in Mechanized Agriculture*. 2022 International Mobile and Embedded Technology Conference (MECON), 683–687.

Raybould, A. (2021). Improving the politics of biotechnological innovations in food security and other sustainable development goals. *Transgenic Research*, 30(5), 613–618. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11248-021-00277-4>

Reshetnikov, V. V., Smolskaya, S. V., Feoktistova, S. G., & Verkhusha, V. V. (2022). Optogenetic approaches in biotechnology and biomaterials. *Trends in Biotechnology*, 40(7), 858–874. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2021.12.007>

Riat, A. K., & Kaur, A. (2019). An Alternative Approach to Synthetic Insecticides: Bio-Pesticides. *Think India Journal*, 22(17), 89–98. <https://thinkindiaquarterly.org/index.php/think-india/article/download/12809/8081>

Salaheen, S., & Biswas, D. (2019). Organic farming practices: Integrated culture versus monoculture. *Safety and practice for organic food* (23–32). Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/safety-and-practice-for-organic-food/biswas/978-0-12-812060-6>

Sallam, A., Alqudah, A. M., Dawood, M. F. A., Baenziger, P. S., & Börner, A. (2019). Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13). <https://doi.org/10.3390/ijms20133137>

Sharma, M., & Kaushik, P. (2021). Vegetable phytochemicals: An update on extraction and analysis techniques. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, (36), 102149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102149>



Show, P. L., Chai, W. S., & Ling, T. C. (Eds.). (2022). *Microalgae for Environmental Biotechnology: Smart Manufacturing and Industry 4.0 Applications*. CRC Press. <https://www.routledge.com/Microalgae-for-Environmental-Biotechnology-Smart-Manufacturing-and-Industry/Show-Chai-Ling/p/book/9781032064116>

Singh, A. K., Rana, H. K., Tshabalala, T., Kumar, R., Gupta, A., Ndhlala, A. R., & Pandey, A. K. (2020). Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop *Moringa oleifera* Lam: An overview. *South African Journal of Botany*, (129), 209–220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.06.017>

Sowmiyaa, S., & Lavanya, S. M. (2020). Agtech vis-a-vis Blockchain. *Biotica Research Today*, 2(11), 1143–1144. https://www.researchgate.net/publication/350225122_Agtech_vis-a-vis_Blockchain

Srivastava, R. K. (2019). Bio-energy production by contribution of effective and suitable microbial system. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 308–318. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mset.2018.12.007>

Srivastava, Vivek. (2019). CRISPR applications in plant genetic engineering and biotechnology. *Plant Biotechnology: Progress in Genomic Era* (pp. 429–459). Springer. <https://www.semanticscholar.org/paper/CRISPR-Applications-in-Plant-Genetic-Engineering-Srivastava/b9c47a51dc-27760f73a9f6d52af1576a106e689b>

Szparaga, A., Kocira, S., & Kapusta, I. (2021). Identification of a biostimulating potential of an organic biomaterial based on the botanical extract from *Arctium lappa* L. roots. *Materials*, 14(17), 4920. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/17/4920>

Tardieu, F., Cabrera-Bosquet, L., Pridmore, T., & Bennett, M. (2017). Plant Phenomics, From Sensors to Knowledge. *Current Biology*, 27(15), R770–R783. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.055>

Tirnaz, S., & Batley, J. (2019). Epigenetics: Potentials and Challenges in Crop Breeding. *Molecular Plant*, 12(10), 1309–1311. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2019.09.006>

USDA. (2022). *Agricultural Biotechnology*. United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service.

Vaishnav, P., & Demain, A. L. (2009). Industrial Biotechnology, (overview). En M. Schaechter (Ed.), *Encyclopedia of Microbiology* (3 ed., pp. 335–348). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012373944-5.00150-4>

Vallero, D. A. (2010). Environmental Risks of Biotechnologies: Economic Sector Perspectives. *Environmental Biotechnology: A Biosystems Approach* (pp. 443–490). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375089-1.10009-1>



Varotto, S., Tani, E., Abraham, E., Krugman, T., Kapazoglou, A., Melzer, R., Radanović, A., & Miladinović, D. (2020). Epigenetics: possible applications in climate-smart crop breeding. *Journal of Experimental Botany*, 71(17), 5223–5236. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa188>

Ventures, D. B. F. (2017). Digital farming attracts cash to agtech startups. *Nature Biotechnology*, 35(5), 397–398.

von Veltheim, F. R., & Heise, H. (2020). The AgTech Startup Perspective to Farmers Ex Ante Acceptance Process of Autonomous Field Robots. *Sustainability*, 12(24), 10570. <https://doi.org/10.3390/su122410570>

Waltz, E. (2017). Digital farming attracts cash to agtech startups. *Nature Biotechnology*, 35(5), 397–398. <https://doi.org/10.1038/nbt0517-397>

Wang, X., Lu, J., Fray, R., Grierson, G., Han, Y., & Chang, S. (2014). Plant genetic engineering and genetically modified crop breeding: history and current status. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4(1), 5–27. <https://journal.hep.com.cn/fase>

Wu, F., Cao, L., Guo, S., & Zhang, J. (2020). *Design and application of 3D path planning model of agricultural automatic robot*. 2020 International Conference on Computer Information and Big Data Applications (CIBDA), 408–411.

Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941–2962. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

Yang, Y., & Hobbs, J. E. (2020). Supporters or opponents: will cultural values shape consumer acceptance of gene editing? *Journal of Food Products Marketing*, 26(1), 17–37. <https://doi.org/10.1080/10454446.2020.1715316>

Yu, L.P., Wu, F.Q., & Chen, G.Q. (2019). Next-Generation Industrial Biotechnology-Transforming the Current Industrial Biotechnology into Competitive Processes. *Biotechnology Journal*, 14(9), 1800437. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/biot.201800437>

Zimdahl, R. L. (2022). *Agriculture's ethical horizon*. Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/agricultures-ethical-horizon/zimdahl/978-0-12-823667-3>

